SERIE A, N° 988
N° d'ordre :
1013

# THESES

présentées

A LA FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE PARIS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE
(Mention Sciences)

par Amar GAUR

1ère THESE - "Influence de l'humus sur les propriétés physico-chimiques des sols et la nutrition minérale des végétaux".

2ème THESE - Propositions données par la Faculté.

SOUTENUES le 28 JUIN 1962 devant la Commission d'Examen

MM. CHOUARD Président

LEMEE (
( Examinateurs
HELLER (

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

T H E S E S

présentées

A LA FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE

DE PARIS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE (Mention Sciences)

par Amar G A U R

1ère T H E S E " Influence de l'humus sur les propriétés physico-chimiques des sols et la nutrition minérale des végétaux".

2eme T H E S E - Propositions données par la Faculté

SOUTENUES le 28 JUIN 1962 devant la Commission d'examen

MM. CHOUARD Président

LEMEE
HELLER } Examinateurs

Rijksuniversiteit
Sterrenwacht
Leiden

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538119_0028

(Janvier 1962)

# FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE PARIS

## - PROFESSEURS -

Doyen..... M. ZAMANSKY

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| G. JULIA | T | Analyse supérieure et Algèbre supérieure | PONCIN | T | Mécanique Générale |
| | | | DUBREUIL | T | Arithmétique et théorie des Nombres |
| de BROGLIE | T | Théories physiques | | | |
| PRENANT | T | Anatomie et Histologie comparées | QUELET | T | Chimie organique |
| | | | CAGNIARD | T | Géophysique appliquée |
| | | | CHAMPETIER | T | Chimie macromoléculaire |
| | | | CUVILLIER | T | Micropaléontologie |
| GRASSE | T | Evolution des êtres organisés | JUNG | T | Pétrographie |
| | | | TRILLAT | T | Microscopie et diffraction électronique |
| PREVOST | T | Chimie organique | | | |
| CHAUDRON | T | Chimie appliquée | WIEMANN | T | Chimie organique et struc- |
| WYART | T | Minéralogie et Cristal. | JACQUINOT | T | Spectroscopie et physique céleste (Orsay) |
| TEISSIER | T | Zoologie | | | |
| MANGENOT | T | Biologie Vég. (Orsay) | VASSY | T | Physique de l'atmosphère |
| AUGER | T | Physique quantique et Relativité | DESTOUCHES | T | Théories Physiques |
| | | | AMIEL | T | Chimie générale |
| MONNIER | T | Physiologie générale | HOCART | T | Minéralogie et Cristallog. |
| PIVETEAU | T | Paléontologie | J.P. MATHIEU | T | Physique (Optique) |
| ROCARD | T | Physique (E.N.S.) | Couteaux | T | Biologie animale (P.C.B.) |
| CARTAN | T | Mathématiques (E.N.S.) | MAY | T | Zoologie (Orsay) |
| LAFFITTE | T | Chimie générale | CHOQUET | T | Théorie des fonctions et Topologie |
| FAVARD | T | Géométrie supérieure | | | |
| COULOMB | T | Physique du Globe | FELDMANN | T | Biologie Végétale marine |
| Mle COUSIN | T | Biologie animale (SPCN) | GUINIER | T | Physique des Solides(Orsay) |
| CHRETIEN | T | Chimie minérale | JOST | T | Physiologie comparée |
| DRACH | T | Zoologie | FORTET | T | Calcul des Probabilités et Physique mathématique |
| KASTLER | T | Physique (E.N.S.) | | | |
| EPHRUSSI | T | Génétique | SCHWARTZ | T | Calcul diff. et Intégral |
| RIVIERE | T | Géologie SPCN et sédim. | CHOUARD | T | Physiologie Végétale |
| GAUTHERET | T | Biologie Vég. (P.C.B.) | MALAVARD | T | Aviation (Techn. Aéronaut. |
| LUCAS R. | T | Recherches Physiques | BRELOT | T | Calcul diff. et intégral |
| THOMAS A. | T. | Biologie cellulaire | NORMANT | T | Synthèse organique générale |
| ARNULF | T | Optique appliquée | BENARD | T | Chimie Minérale |
| MORAND | T | Physique Enseignement | BUVAT | T | Botanique (E.N.S.) |
| SOLEILLET | T | Physique (P.C.B.) | DUGUE | T | Statistiques Mathématiques |
| FORTIER | T | Mécanique exp. des Fluides | SOULAIRAC | T | Psychophysiologie |
| DANJON | T | Astronomie | ULRICH | T | Physiologie Végétale |
| PETIT | T | Biologie maritime | MARECHAL | T | Optique théorique et appl. |
| QUENEY | T | Météorologie et dynamique atmosphérique | KIRMANN | T | Théories chimiques |
| | | | CHADEFAUD | T | Botanique |
| GALLIEN | T | Embryologie | Mle LE BRETON | T | Physiologie de la nutri. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| EICHHORN | T | Botanique | SALEM | T | Mathématiques générales |
| DE CUGNAC | T | Biologie Végérale (SPCN) | LELONG | T | Applic. de l'analyse à la géométrie |
| Mle CAUCHOIS | T | Chimie Physique | | | |
| THELLIER | T | Physique du Globe | DEVILLERS | T | Anatomie et Histologie comp. |
| L'HERITIER | T | Biologie Générale (Orsay) | EHRESMANN | T | Topologie Algébrique |
| GRIVET | T | Radioélectricité (Orsay) | FRANCON | T | Physique (S.P.C.N.) |
| GLANGEAUD | T | Géographie phys. et Géologie dynamique | Mle JOSIEN | T | Chimie S.P.C.N. |
| | | | CHEVALLEY | T | Géométrie algébrique et théorie des groupes |
| GODEMENT | T | Mathématiques (M.P.C) | | | |
| PISOT | T | Tech. Mathém. de la Phys. | ARNOULT | T | Electronique (Orsay) |
| ROCH | T | Géologie | CHAPELLE | T | Physique (Orsay) |
| SCHATZMAN | T | Astrophysique | DELANGE | T | Mathématiques (Orsay) |
| TERMIER | T | Paléontologie stratig. | DENY | T | Mathématiques (Orsay) Géné. |
| ZAMANSKY | T | Mathématiques générales | GERMAIN | T | Mécan. Théor. des fluides |
| LENNUIER | T | Physique (M.G.P.) | LUCAS G. | T | Géologie |
| RIZET | T | Génétique (Orsay) | ALLARD | T | Chimie Physique |
| ROUTHIER | T | Géologie appliquée | BERTHELOT | T | Phys. Fondamentale des Hautes Energies (Orsay) |
| Mme TONNELAT | T | Physique Théorique | | | |
| DIXMIER | T | Mathématiques (M.P.C) | BRICART | T | Météorologie et phys. de l'Atmosphère |
| SOUCHAY | T | Chimie générale | | | |
| AIGRAIN | T | Electrotechnique géné. | Mme ALBE-FESSARD | T | Psychophysiologie |
| BRUSSET | T | Chimie systématique | FRIEDEL | T | Physique des solides (Ors) |
| M. LEVY | T | Physique théorique des hautes énergies (Orsay) | M. JULIA | | Etudes des Moléculaires naturelles compl. |
| Mme CHAIX | T | Chimie biologiques (PCB) | LENDER | T | Biol. Animale (SPCN) Orsay |
| Mme HUREL-PY | | Biologie Végétale (PCB) | MAGAT | | Physico-chimie des radio-éléments |
| PLAUX | T | Chimie (M.P.C.) | | | |
| BRUN | T | Mécan. théorique des Fluides | Mlle QUINTIN | T | Electrochimie |
| | | | MONOD | T | Chimie du métabolisme |
| LEDERER | T | Chimie biologique | BENOIT | T | Physiol. Anim. (Orsay) |
| Mme DUBREIL | T | Mathém. (Agrégation) | DE POSSEL | T | Analyse numérique |
| Mme LELONG | T | Mathématiques (E.N.S.) | CHARLOT | T | Chimie analytique |
| BELLAIR | T | Géologie (S.P.C.N.) | HAISSINSKY | T | Radiochimie |
| COTTE | T | Physique électricité | LEMEE | T | Physiol. Vég. BMPV (Orsay) |
| DUBOIS J.E | T | Chimie organique | GUERIN | T | Chimie M.P.C. (Orsay) |
| LAMOTTE | T | Zoologie (E.N.S.) | CHATELET M. | T | Chimie (P.C.B.) |
| MICHEL A. | T | Chimie Minérale (Orsay) | JEAN | T | Physique Nucléaire (Orsay) |
| OLMER | T | Energétique générale | MATTLER | T | Physique S.P.C.N. |
| ROUAULT | T | Electricité (Orsay) | MICHEL L. | | Phys. Théor. des Htes Energies (Orsay) |
| GAUTHIER | T | Mécanique appliquée | | | |
| BARCHEWITZ | T | Chimie Physique | BERGERARD | T | Zoologie (Orsay) |
| BROSSEL | T | Physique atomique | BERTEIN | T | Electronique (Orsay) |
| BUSER | T | Physiologie comparée | BOUISSIERES | | Chimie des Radioéléments (Orsay) |
| CAMUS | T | Physiologie Vég. BMPV | | | |
| CASTAING | T | Physique (Orsay) | Mme COUTURE | T | Thermodynamique et Méc. Physique |
| CURIEN | T | Minéralo. et Cristallog. | | | |
| MOYSE | T | Physiologie Végé. (Orsay) | ELIENBERGER | T | Géologie appli. s/ le terr. |
| NOIROT | T | Evolution des Etres org. | FRANC | | Biol. Animale (P.C.B.) |
| PANNETIER | T | Chimie générale (Orsay) | SCHNELL | | Botanique tropicale (Orsay) |
| POSSOMBES | T | Zoologie | STOLKOWSKI | | Physiologie générale |
| PULLMANN | T | Chimie théorique | ACHER | | Chimie Biol. (Orsay) |
| TEILLAC | T | Physique Nucl. et Radio Activité | BAUDOIN | | Biologie animale P.C.B. |
| | | | BEAUMONT | | Biologie animale SPCN |

| | | |
|---|---|---|
| TONNELAT | T | Biologie Physico-chim. |
| VILLE | T | Econométrie |
| WILLEMART | T | Chimie (P.C.B.) |
| DODE | T | Chimie (Orsay) |
| FREYMANN | T | Recherches Physiques |
| GUINOCHET | T | Biol. Vég. SPCN (Orsay) |
| ROLLET | T | Chimie (P.C.B) |
| CAILLEUX | | Géologie (S.P.C.N.) |
| MAGNAN | T | Physique (S.P.C.N.) |
| DAUDEL | T | Mécanique ondulatoire appl. à la Chim. Théor. et à la Phys. Nucléaire |
| Mlle FOURCROY | | Biol. Végétale (SPCN) |
| Mme CHOQUET BRUHAT | T | Méc. Analytique et Méc. céleste |
| Mlle VEIL | | Physiologie Générale |
| LWOFF | T | Microbiologie |
| SIESTRUNCK | T | Mécan. Phys. et Expérim. |
| LACOMBE | T | Métallur. des métaux Nucl. |
| BROCHARD | T | Physique P.C.B. (Orsay) |
| CABANNES | T | Mécanique générale |
| LESIEUR. | T | Mathématique MPC (Orsay) |
| MAZET | T | Mécanique générale (Orsay) |
| CAIRE | | Géographie phys. et Géol. Dynamique |
| COMOLET | T | Mécanique des Fluides |
| CORABOEUF | | Physiologie Animale |
| DELLOUE | | Physique de l'exosphère |
| GORENFLOT | | Botanique II (Orsay) |
| HOUILLON | | Biologie Animale (P.C.B) |
| JULLIEN J. | | Chimie PC.B. |
| MALGRANGE | T | Tech. Math. de la Phys. |
| OLIVIER | | Antropologie |
| NOZERAN | T | Botanique II (Orsay) |
| BLANC LAPIERRE | | Physique ENS (Orsay) |
| CHEVAUGEON | T | Botanique (Orsay) |
| KAHANE | T | Mathématiques (Orsay) |
| SAMUEL | T | Mathématiques ENS féminines |
| KOURGANOFF | T | Astronomie (Orsay) |
| THIRY | T | Mécanique céleste |

| | | |
|---|---|---|
| BLAMONT | T | Géophysique Ionosphère |
| BOURREAU | | Botanique |
| CURIE D. | | Physique (M.C.P.) |
| DURAND-DELGA | T | Géologie |
| FREON | T | Chimie organique (Orsay) |
| Heller | T | Physiologie végétale |
| TORTRAT | T | Calcul des Probabilités |

SECRETARIAT GENERAL..... R. POULLAIN.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur le Professeur CHOUARD, de la Faculté des Sciences de Paris, qui a très aimablement accepté de présider le jury de thèse.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Professeur LEMEE pour l'intérêt qu'il a pris à mon travail et les conseils qu'il m'a donnés au cours des recherches ; je remercie vivement Monsieur le Professeur HELLER pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée.

J'adresse mes profonds remerciements à Monsieur le Professeur CHAMINADE de l'I.N.R.A. qui m'a permis de travailler à son laboratoire et m'a guidé de ses conseils. Je lui suis très reconnaissant de l'intérêt qu'il a porté à mes recherches tout au long de leur réalisation.

Je suis également reconnaissant à Monsieur BOISCHOT, directeur de la Station Centrale d'Agronomie (I.N.R.A.) qui m'a procuré toutes les facilités pour la poursuite du travail à cette station.

Je remercie Monsieur BUSTARRET, Inspecteur Général de l'I.N.R.A. et l'association pour l'organisation des stages de Techniciens étrangers dans l'industrie française (A.S.T.E.F.) qui ont bien voulu me faire bénéficier de bourses durant mon séjour en France.

- TABLE DES MATIERES. -


| | Pages |
|---|---|
| CHAPITRE I - | |
| - Introduction et Historique. | 1 |
| - Formation, Nature et Composition de l'humus. | 4 |
| CHAPITRE II - | |
| - Méthodes et Techniques. | 8 |
| CHAPITRE III - | |
| - Influence de l'acide humique et de la paille de blé en décomposition sur la capacité d'échange de cations du sol. | 13 |
| CHAPITRE IV - | |
| - Influence de l'acide humique sur la fixation du phosphore par un sol. | 18 |
| CHAPITRE V - | |
| - Influence de l'acide humique sur la fixation du potassium échangeable par un sol. | 23 |
| CHAPITRE VI - | |
| - Influence de l'acide humique sur la croissance et la nutrition minérale des végétaux. | 28 |
| RESUME - | 40 |
| BIBLIOGRAPHIE - | 42 |

# - CHAPITRE I -

- Introduction et Historique.

- Formation, Nature et composition de l'humus.

# - INTRODUCTION -

Les substances organiques jouent un rôle direct dans la fertilité du sol comme source d'éléments nutritifs pour les plantes, libéré sous forme assimilable au cours de la minéralisation. Mais les substances organiques jouent également un rôle indirect.

La matière organique améliore la structure du sol, facilite le drainage et l'aération, accroît la capacité pour l'eau du sol et modifie largement ses propriétés physico-chimiques telles que l'effet tampon et la capacité d'échange de cations.

D'autre part, l'humus a un effet direct sur la plante, l'action stimulante de substances humiques sur la croissance des plantes a été mise en évidence.

## - HISTORIQUE -

Dans l'ouvrage de WALLERIUS (I) qui fut le premier guide scientifique de Chimie Agricole, figurent des indications sur la formation de l'Humus au cours de la décomposition des plantes et certaines de ses propriétés notamment sa capacité d'absorption de l'eau et d'éléments nutritifs. L'humus était alors considéré comme un aliment des plantes.

Les idées obscures sur les substances humiques commencèrent à se clarifier quand ces substances furent isolées d'un certain nombre de produits naturels. ACHARD (2) semble être le premier à avoir isoler des substances humiques à partir de tourbe, par traitement avec des solutions alcalines et précipitation par acidification.

DE SAUSSURE (3) montra que les substances humiques renferment plus de carbone et moins, d'hydrogène et d'oxygène, que les résidus végétaux ; il présenta une théorie de la "nutrition humique" des plantes après avoir isolé de l'humus une fraction soluble à l'eau. Il conclut d'après les expériences en vases de végétation que les substances humiques sont directement assimilés par les végétaux.

La théorie humique de l'alimentation des végétaux fut admise pendant plusieurs décades jusqu'à la publication des travaux de BOUSSINGAULT (5) et de LIEBIG (6) fondateurs de la théorie de l'alimentation minérale.

LIEBIG réfuta la théorie de l'alimentation humique des plantes affirmant que la teneur en humus des sols était, non pas la cause mais la conséquence des rendements élevés.

GRANDEAU (7) proposa une nouvelle théorie de la nutrition organo-minérale des végétaux d'après laquelle les substances humiques permettraient la transformation de composés organiques insolubles ou difficilement solubles en formes assimilables. Cette théorie conciliait les idées sur la nutrition minérale des plantes avec celles relatives à la nutrition humique et faisait état de propriétés, des acides humiques

.....

nouvellement découverts : lente participation aux phénomènes d'absorption et d'échanges dans les sols.

Le renouveau des études sur l'humus des sols résultant du développement de deux disciplines : la microbiologie et la pédologie, se manifesta à la fin du siècle dernier. Avec le développement de la science du sol, les études sur l'humus devinrent plus nombreuses et plus précises.

Des recherches furent entreprises sur la décomposition des substances organiques dans le sol, notamment sur l'influence de la température, de l'humidité et de l'aération sur l'intensité du phénomène. A ces recherches se rattachent les travaux classiques de SCHLOESING (8, 9) KOSTYCHEV (10, 11) WOLLNY (12, 13) DEHERAIN (14) DEHERAIN et DEMOUSSY (15).

Ces travaux établissent que l'humus est une source d'éléments nutritifs pour la plante (particulièrement d'azote) par passage sous forme assimilable durant la décomposition ; ils ont aussi montré le rôle de l'humus dans la formation de la structure du sol, assurant des conditions favorables pour la circulation de l'air et de l'eau.

Les microorganismes interviennent dans le cycle de nombreux éléments tels que l'azote, le soufre, le phosphore, le fer, le calcium, la silice (WINOGRASKEY (16) NADSON (17), OMELIANSKII (18).

A la suite des travaux de PASTEUR, POST (19) DARWIN (20) KOSTYCHEV (21) MULLER (22) RAMANN (23) il a été établi le fait important que la formation de l'humus n'est pas un processus physique ou chimique mais résulte de l'activité de protozoaires et de divers autres microorganismes.

SCHREINER, SHORE et leurs collaborateurs (24) considéraient les substances humiques comme des composés artificiles formés au cours de l'extraction du sol par les alcalis.

D'autres chercheurs, continuèrent l'étude des substances humiques en tant que composés complexes de nature spécifique. Parmi les travaux les plus importants

.....

dans ce sens figurent ceux de ODEN (25, 26, 27).

ODEN considérait que les substances humiques (il étudia surtaut celles des tourbes et de façon moins approfondie celles des sols) pouvaient être divisées en plusieurs groupes : charbon humique, acide humique, acide hymatomélanique et acide fulvique. Il montra que les suspensions d'acide humique avaient un pH de 3,87. En déterminant la conductivité électrique d'un acide humique neutralisé par la soude il conclut à la présence de trois fonctions acides bien que dans des travaux ultérieurs il le décrivit comme tétraacide. Les résultats de ces travaux confirmèrent la nécessité du chaulage des tourbes acides.

Durant la même période de nouvelles recherches furent entreprises pour expliquer l'origine des substances humiques, le mécanisme de leur formation et le rôle des microorganismes dans ce processus.

L'idée que les substances humiques étaient des produits de synthèse se confirma ; la présence d'azote dans les acides humiques fut établie avec certitude. Les recherches de DOYARENKO (28) SUKUZI (29) JODIDI (30) KELLEY et THOMPSON (31) ont montré la nature protéine de la fraction azotée des acides humiques ; d'autres travaux établirent la présence de composés aromatiques dans l'acide humique. SESTINI (32) confirma les observations de HOPPE-SEYLER (33) d'après lesquelles des dérivés phénoliques se rencontraient dans les produits dérivés de la fusion alcaline des acides humiques de tourbe et de lignite.

MAILLARD (34) tenta de réaliser la synthèse des substances humiques en faisant réagir des amino-acides sur des hydrates de carbone. Il obtint par un léger chauffage des substances fortement colorées, semblables à l'humus. L'opinion de MAILLARD, d'après laquelle les substances humiques sont synthétisées à partir de produits plus simples formés au cours de la décomposition des résidus végétaux, était correcte.

Entre temps, un grand nombre de résultats s'accumulèrent, montrant que les résidus végétaux subissent des transformations biochimiques complexes au

cours de leur décomposition. BEIJERINCK (35) établit que les actinomycetes (streptothrix chromogenus) produisent des composés aromatiques, à fonction quinone dans un milieu renfermant de la peptone.

PERRIER (36) montra qu'en conditions d'aérobies des sels des acides benzoïques et salicyliques sont transformés en produits de condensation fortement colorés en brun sous l'action de champignons et de bactéries (Bact. pyocyaneum). Les recherches de BERTRAND (37) montrèrent que les processus d'oxydation et de condensation de la tyrosine et de certains polyphénols (acide gallique, pyrogallol, gaïacol) sous l'influence des oxydases donne naissance à des produits de condensation fortement colorés.

Depuis 1920 le problème de l'humus a été également étudié en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol ; on a pu ainsi mettre en évidence des propriétés d'échanges d'ions, son rôle dans la structure du sol, la rétention de l'eau et la mobilisation des phosphates (38).

Dans les dernières années les travaux sur l'humus se sont multipliés dans différents pays et une mise au point sur cet important sujet apparaît amplement justifiée.

FORMATION, NATURE et COMPOSITION de l'HUMUS. - Le processus d'humification des résidus animaux et végétaux fait intervenir la flore microbienne et la faune du sol Il est à noter que l'humification comporte deux stades :

1°) Un stade de décomposition au cours duquel les résidus organiques, animaux et végétaux sont transformés en composés chimiques plus simples et partiellement minéralisés ($CO_2$, $NO_2$, $NO_3$, $NH_3$, $CH_4$, $H_2O$ etc...)

2°) Un stade de synthèse avec formation de composés organiques de poids moléculaire élevé, constituant les substances humiques. Par exemple, l'acide humique prend naissance par condensation de composés aromatiques avec des amino-acides ou des peptides avec la participation possible d'agents de réduction.

Il est généralement admis que les microorganismes participent principalement au premier stade de la formation de l'humus (stade de décomposition) et que l'activité synthétique des microorganismes est limitée à la formation des corps bactériens.

Le second stade de l'humification est considéré de nature physico-chimique, sans intervention des microorganismes. Cette opinion n'est pas partagée par certains auteurs (39) pour lesquels, l'intervention des microorganismes dans les réactions de synthèse est considérable.

Il est certain que les substances organiques originelles subissent des modifications très importantes, au cours de l'humification, notamment la transformation de composés à chaine ouverte en produits aromatiques (par exemple la fermentation de glucides avec formation de polyphénols) qui peuvent intervenir par la suite dans la constitution des acides humiques.

Finalement, on peut admettre que les divers résidus végétaux sont utilisés par les microorganismes pour la formation de leur propre substance ; l'humus prend naissance à partir des produits de décomposition des corps microbiens.

En conséquence, la classification des résidus végétaux dn deux groupes sources directe d'humus (p. ex lignine) et source indirecte (p. ex cellulose) n'apparaît pas justifiée.

Les matériaux originels sont sujets à de telles modifications au cours de l'humification qu'ils peuvent tous être considérés, à notre sens, comme sources indirectes de substances humiques.

.....

COMPOSITION DE L'HUMUS ET NATURE DES SUBSTANCES HUMIQUES.

La fraction organique des sols renferme un mélange complexe de produits représentant tous les termes de passage entre les êtres vivants dont ils proviennent et les matières organiques de néo-formation résultant des réactions de synthèse. Les produits intermédiaires sont constitués de substances azotées et non azotées : protides, glucides, lipides, acides organiques, résines..etc..

Ces constituants, de nature non spécifique, représentent 10 à 15 % de la matière organique totale. La constance de leur présence dans les milieux naturels (sols, terreaux, tourbes, composts) justifie leur classification dans ce groupe dénommé " substances humiques ".

CHIMIE DES COMPOSES HUMIQUES (40) - Les recherches physiques et chimiques sur les composés humiques ont montré qu'ils étaient constitués d'un mélange de composés organiques de poids moléculaires élevés, moyens ou faibles renfermant des fonctions acides, neutres ou basiques.

Les composés humiques renferment de 52 à 62 % de carbone ; 2,5 % à 6 % d'hydrogène ; 30 à 40 % d'oxygène et 0 à 6 % d'azote.

ACIDES FULVIQUES.

Ces composés possèdent un caractère acide marqué et une capacité d'échange élevée. Ils contiennent au moins quatre groupes COOH par molécule. Ils sont mobiles dans les sols et jouent un rôle important en pédologie comme agents de lessivage (Podzols).

Leur pouvoir agrégeant sur les particules minérales est faible.

ACIDE HYMATOMELAMIQUE.

Les fractions, solubles dans l'alcool, sont vraisemblablement des formes simplifiées des acides humiques.

.....

ACIDES HUMIQUES.

Ca constituant important de la matière organique du sol est un composé amorphe, de coloration brune à noire, renfermant de l'azote et désigné sous le nom dacide humique. Les faibles fluctuations relevées dans la composition élémentaire de ces substances indiquent que des molécules de même type interviennent dans leur constitution. L'étude par spectrographie aux rayons X de ces substances fait apparaître la présence de composés aromatiques.

La composition chimique des acides humiques et la détermination de leurs groupements fonctionnels explique, non seulement leurrs importantes actions sur les propriétés physico-chimiques des sols, notamment le pouvoir d'agrégation et la capacité d'échange, mais également les conditions dans lesquelles ils sont formés et leur effet physiologique sur la croissance de la plante et sa nutrition.

D'après les travaux de plusieurs chercheurs (LAATSCH (41, 42, 43) FLAIG et ses collaborateurs (44), SCHEFFER (45) WELTE (46) et KONONOWA (47)), l'acide fulvique, l'acide hymatomélanique et les acides humiques ne sont pas des groupes indépendants de composés humiques mais des séries uniformes de stades de transition, même le groupe des humines (charbons humiques) n'est probablement rien d'autre que des acides humiques combinés à des éléments minéraux du sol.

# - CHAPITRE II -

## Méthodes et Techniques.

## I - ANALYSES DES SOLS -

Analyse mécanique des sols.

Méthode Internationale modifiée par utilisation de la pipette de Robinson et tamisage des sables.

Capacité d'Echange de Cations.

La capacité d'échange de cations a été déterminée par la méthode Mehlich (48).

Le principe de cette méthode consiste à agiter le sol avec une solution de $Cl_2$ Ba tamaponnée par la triethanolamine à pH 8,1 pour les sols acides.

Pour les sols neutres ou calcaires on utilise une solution d' acétate de baryum tamponnée à pH 7,0.

Le baryum fixé est ensuite déplacé par le sulfate de Magnésium.

Réactifs.

1°) Solution A - Solution à 10 % de $BaCl_2$, $2H_2O$ additionné de 22,5 ml par litre de triéthanolamine (d : 1,25) et amené à pH 8,1 par ClH, N.

2°) Solution B - $MgSO_4$, 0,1 N

3°) Solution de Complexon - Solution 0,05 N de sel disodique de l'acide ethylène diamine tetraacétique (0, 305 g ' de sel par litre d'eau).

Cette solution est titrée par 10 cc de solution B.

4°) Solution tampon pH 10 - 1 volume de $ClNH_4$, N et 5 volumes de $NH_4$ OH, N.

5°) Indicateur - 0,2 gr de noir d'Eriochrome dans 100 cc de solution tampon (4) L'indicateur doit être préparé chaque jour.

.....

Mode opératoire.

1 à 2 g de sol sont placés dans un tube à centrifuger de 50 cc et agités pendant une minute avec 25 ml de solution de $BaCl_2$. On centrifuge 5 minutes à 3000 t/ minute. Le liquide surnageant est séparé. Le sol est ensuite lavé à plusieurs reprises par centrifugation pour éliminer l'excès de chlorure de Baryum.

On mélange le culot de centrifugation avec 25 ml de solution B ($MgSO_4$, 0,1 N). Le mélange est agité une minute et centrifugé 5 minutes à 3000 t/ minute.

10 ml du liquide surnageant sont dilués à 100 ml. On ajoute 10 ml de solution tampon (4) et 5 gouttes d'indicateur (5). L'excès de Magnesium est titré par la solution de Complexon (3) jusqu'à l'apparition de la couleur bleue. La capacité d'échange dst calculée de la façon suivante :

$$C.E.C. = \frac{(M-N) \times 0,05 \times 2,5 \times 100}{P}$$

(m.eq pour 100 gr)

M : ml de solution 3 correspondant à 10 cc de solution B

N : ml de solution 3 utilisés au titrage.

P : poids du sol.

## DOSAGE DE L'ACIDE HUMIQUE (49)

1) - Dissolution de l'humus -

20 g de sol sont placés en suspension dans 100 cc d'oxalate d'ammonium à 3 p. cent. Ces quantités conviennent dans les cas moyens. Pour les sols pauvres

.....

en humus il y aura lieu d'opérer sur des quantités plus élevées.

Le mélange est agité de façon intermittente, abandonné une nuit, agité de nouveau et filtré.

2) Précipitation de l'acide humique.

On prélève un volume de solution humique correspondant à un poids connu de sol et on l'additionne de 1/10 de son volume d'acide sulfurique pur. On laisse les flocons d'acide humique se rassembler et on les recueille sur filtre. On lave par $SO_4H_2$ N/10 jusqu'à la disparition complète de l'oxalate d'ammonium.

3) Redissolution et titrage :

Le précipité est redissout sur filtre par Na OH N/10. La solution est amenée à 100 cc sur lesquels on prélève 50 cc que l'on place dans un Erlenmeyer avec 20 cc de $Mn\ O_4K$ N/10. Le mélange est amené à ébullition qu'on maintient exactement 10 minutes puis additionné de 10 ml de $SO_4\ H_2$ au 1/5 et 20 ml d'acide oxalique N/10. On titre en retour par $Mn\ O_4\ K$ N/10. Le nombre de ml de $Mn\ O_4K$ utilisé doit être inférieur à 12 ml.

1 ml de $Mn\ O_4K$ N/10 réduit correspond à 1 m ,02 d'acide humique.

## DOSAGE DU CARBONE ORGANIQUE (50)

Mode opératoire :

On opère sur la terre broyée et passée au tamis 80. La prise d'essai qui ne doit pas contenir plus de 30 mg de carbone organique est placée dans un ballon de 150 cc environ, pourvu d'un réfrigérant ascendant, on ajoute 10 ml d'une solution aqueuse à 8 pour cent de bichromate de potassium et 15 ml d'acide sulfurique. On fait bouillir pendant 5 minutes, on laisse refroidir quel-

ques minutes à l'air libre, on ajoute de l'eau distillée jusqu'aux 3/4 environ de volume de ballon, on refroidit dans un courant d'eau, on ajuste à volume connu et on prélève une partie aliquote (généralement le 1/5) pour le titrage. On dilue à 200 cc et on ajoute 0,5 cc $PO_4H_3$ de densité 1,71 par cc de $SO_4H_2$ présent, 3 à 4 gouttes de diphenylamine sulfonate de baryum en solution aqueuse à 0,5 %. On effectue le titrage avec une solution de sel de Mohr 0,2 N.
1 cc de liqueur de Mohr 0,2 N correspond à 0,6 mg de carbone.

Dosage de l'Azote total :

L'Azote total a été dosé par la méthode Kjeldahl avec réduction des nitrates par l'acide salicylique (Treadwell et Hall) (51).

L'échantillon de 1 à 2 g est placé dans un matras de Kjeldahl et additionné de 30 cc d'acide sulfurique pur renfermant 1 g d'acide salicylique. L'échantillon est agité de façon intermittente pendant 30 minutes. Ce traitement fait passer l'Azote nitrique sous forme de combinaisons organiques.

Après réduction, 5 g d'hyposulfite de sodium sont ajoutés pour réduire les composés nitrés formés par l'acide salicylique.

L'attaque Kjeldahl en présence de catalyseur et la distillation sont ensuite effectués suivant la méthode habituelle.

Dosage de l'acide phosphorique.

La méthode utilisée est la méthode Lorenz.

Précipitation de l'acide phosphorique par le molybdate d'ammonium en milieu sulfo-nitrique. Filtration et lavage du précipité. Redissolution dans un excès de soude titrée et titrage en retour de l'excès de soude par l'acide sulfurique N/10.

Dosage du potassium.

Ce dosage est réalisé au photomètre de Flamme. Les courbes étalon sont

établies à l'aide de solutions renfermant des quantités croissantes de potassium en présence des autres constituants de la solution à analyser.

II - Analyse des plantes.

Minéralisation. : La minéralisation est faite par calcination de 250 mg de poudre de feuilles à la température de 450°.

Les cendres sont reprises par 1 ml d'acide chlorhydrique concentré. On amène à sec sur plaque chauffante pour filtrer la silice. Le résidu est repris par 1 cc de ClH 5,5 N. On laisse digérer 5 à 10 minutes, on filtre et on amène le liquide de lavage à 100 cc (Solution pour dosage de P, K, Ca et Mg).

Dosage de P : - Technique de Fiske et Subbarow (52).

Réduction par l'acide amino-naphtol-sulfonique d'un composé phospho-molybdique.

Dosage colorimétrique du bleu de molybdène à 460 mμ

Dosage de K : - Par photométrie de flamme.

Dosage de Ca et Mg (53)

Le dosage est réalisé au versenate en présence de noir bleu au chrome.

Un premier dosage donne le Calcium ; un second dosage donne la somme Ca + Mg.

Mg est déterminé par différence.

# - CHAPITRE III -

## Influence de l'acide humique et de la paille de blé en décomposition sur la capacité d'échange de cations du sol.

La capacité d'échange de cations de la matière organique du sol, bien que mise en évidence par les travaux de WAY (1850) a été moins étudiée que celle de la fraction minérale.

La matière organique possède une capacité d'échange beaucoup plus élevée que les colloïdes minéraux. On peut donc présumer qu'elle joue un rôle important dans la capacité d'échange de cations des sols.

RAUTENBERG (54) en 1862 a observé l'échange de bases dans les sols forestiers, EICHORN (55) dans la tourbe et les humates calciques. KONIG (56) a établi que le processus de fixation était de nature chimique. WITZ (57) observa en 1882 l'augmentation de la capacité d'échange des sols sous l'influence de la matière organique.

Selon Mc GEORGE (58) la lignine, la lignocellulose, la lignine hemicellulose et les substances apparentées sont particulièrement responsables des propriétés d'échange de la matière organique des sols. Il a trouvé une relation linéaire entre la teneur en lignine et la capacité d'échange de cations de la matière organique, et attribué le pouvoir d'échange aux hydroxyles phénoliques, de la molécule de lignine. MITCHELL (59) a abouti à des conclusions analogues; MULLER (60) conclut que les propriétés d'échange de cations de fractions de la matière organique en voie de décomposition, séparées par des méthodes chimiques, pourrait être expliquées par la présence de groupement $COOH^-$ et $OH^-$. GILLAM (61) a obtenu une légère réduction de la capacité d'échange d'acides humiques par acétylation et méthylation des groupements OH, La capacité d'échange de la lignine était notablement diminuée par des traitements analogues. A l'aide de titrations potentiométriques, il montra la présence de groupes carboxyles dans les acides humiques.

D'après BROADBENT et BRADFORD (62) la possibilité, pour les groupements de la matière organique, responsables des échanges de cations de donner des esters ou des ethers avec les agents de méthylation, montre que ces groupements sont probablement des carboxyles et des oxhydriles phénoliques ou énoliques.

Mc LEAN (63) a montré que la capacité d'échange et l'activité des cations dans le complexe argilo-humique, tout en restant plus élevée que dans l'argile seule, était inférieure à la somme des capacités d'échange des deux constituants. Ce résultat serait dû à une diminution de la capacité d'échange de l'humus du fait de sa fixation par l'argile.

ABRUNA RODRIGUEZ et VICENTO (64) ont observé que la capacité d'échange de la matière organique était comprise entre 100 et 150 m.eq pour 100 gr et pouvait représenter 25 % de la capacité totale d'échange.

WILLIAMS et DONALD (65) ont montré que l'enrichissement du sol en matière organique accroissait notablement la capacité d'échange.

D'après FRERCKS et PUDDE (66) le chaulage élève la capacité d'échange de la matière organique en activant la décomposition.

MOHAMED et GOHAR (67) ont établi que, dans les sols égyptiens, la capacité d'échange de la matière organique était sept fois plus élevée que celle de la fraction argileuse du sol.

HEINONEN (68) a observé que la capacité d'échange de la matière organique décroissait avec l'élévation du taux d'argile du sol ; ce fait serait dû à l'influence de l'argile sur l'évolution de la matière organique.

MATERIAUX et TECHNIQUES.

100 g de sous-sol séchés à 80° sont placés dans des bêchers de 250 ml. L'acide humique extrait d'un terreau est ajouté à des doses, 0 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 1 et 2 pour cent de sol. Le mélange est soigneusement homogénéisé ; les échan-

tillons sont ensuite désséchés à la température du laboratoire et la capacité déterminée par la méthode précédemment indiquée.

## - RESULTATS -

### Tableau I

- Analyse du sol -

| | |
|---|---|
| Sable | 52,8 % |
| Limon | 21,3 % |
| Argile | 27,4 % |
| Capacité d'échange de cations | 21,00 m.éq p 100 gr |
| pH ($H_2O$) | 7,1 |

Analyse de l'acide humique.

| | |
|---|---|
| C | 57,08 % |
| N | 4,26 % |
| C/N | 13,4 |

- Tableau II -

| Traitement | pH | C.E.C. m.éq pour cent. |
|---|---|---|
| Sol (Témoin) | 7,1 | 21,00 |
| Sol + 0,2 % ac. humique | 6,6 | 21,50 |
| Sol + 0,5 % ac. humique | 6,2 | 22,37 |
| Sol + 1 % ac. humique | 5,6 | 23,37 |
| Sol + 2 % ac. humique | 4,8 | 25,00 |

Une autre série d'expériences a été réalisée en présence de matière organique (paille de blé) à différents états de décomposition. 200 g de sous-sol sont placés dans des bêchers de 400 cc, et additionnés de 2 g , 4 g , 10 g et 20 g de paille hachée. L'humidité est maintenue à 30 % dans tous les échantillons. Ceux-ci sont placés à l'étuve à 60°, l'humidité étant maintenue par des arrosages journaliers. Le temps d'incubation à l'étuve a été de 2 mois dans une première série et de 4 mois dans une seconde série.

Après incubation, les sols sont séchés et passés au tamis 80 et la capacité d'échange est déterminée ainsi que la quantité d'acide humique formée.

- Tableau III -

| | Après 2 mois | | Après 4 mois | |
|---|---|---|---|---|
| | C.E.C. m.éq. p.100 g | ac. humique % | C.E.C. m.éq. p.100 g | ac. humique % |
| Sol (Témoin) | 21,00 | 0,060 | 21,00 | 0,060 |
| Sol + 1 % de paille | 21,18 | 0,095 | 21,49 | 0,097 |
| Sol + 2 % de paille | 21,56 | 0,100 | 22,00 | 0,122 |
| Sol + 5 % de paille | 22,80 | 0,138 | 23,70 | 0,157 |
| Sol +10 % de paille | 25,10 | 0,275 | 26,09 | 0,300 |

---

DISCUSSION - Les résultats montrent que l'addition d'acide humique (Tableau 2 et Fig 1) accroît la C.E.C. du sol. La C.E.C. de l'acide humique utilisé dans cette expérience était de 300 m.éq pour 100 gr. On voit que la C.E.C. du mélange sol-acide humique n'est pas la somme des capacités d'échange des deux constituants. La présence de 2 % d'acide humique, par exemple, n'augmente la C.E.C. que de 4 m.éq par rapport au témoin ce qui représente une C.E.C. propre de l'acide humique de 200 m.éq pour 100 gr.

Le tableau III et la Fig 2 montrent l'accroissement de la capacité d'échange sous l'influence dela paille en voie de décomposition. L'accroissement de la C.E.C. n'est pas du uniquement à l'acide humique formé au cours de la décomposition de la paille et avant que soit atteint le stade humique, il apparaît des composés organiques doués de capacité d'échange.

---

## - Chapitre IV -

Influence de l'acide humique sur la fixation du phosphore par un sol.

On désigne sous le nom de "Fixation des phosphates" les modifications présentées par l'ion phosphorique au contact du sol et réduisant les quantités absorbables par les racines des plantes.

La rétention des phosphates par le sol semble avoir été démontrée pour la première fois par WAY (69) en 1850, bien que 10 ans auparavant LIEBIG avait entrevu ce phénomène.

De nombreux auteurs (70, 71, 72, 73, 74, 75) ont observé que la matière organique accroissait l'assimilabilité des phosphates du sol et des phosphates naturels ajoutés comme engrais. BRADLEY (76) STRUTHERS (77) et SWENSON et al. (78) ont montré que de nombreuses substances organiques rencontrées couramment dans le sol limitent la précipitation des phosphates par le fer et l'alumine entre pH 3 et 9. DALTON et al. (79) ont émis l'hypothèse que certaines substances organiques avaient la possibilité de former des complexes avec le fer et l'aluminium les empêchant de fixer les phosphates solubles. SPINKS et PRITCHETT (80) ont montré que la présence de tourbe augmentait le mouvement des phosphates dans le sol. SWENSON, COLE et SIELING (78) ont établi que l'humus et la lignine pouvaient remplacer les ions phosphates des phosphates basiques de fer. Probablement en raison de la formation de composés stables ou de complexes entre le fer et les substances organiques.

CHAMINADE (81) a établi que l'humus forme des complexes avec les ions phosphoriques non précipitables par les ions calcium même à pH élevé. D'autres (82) chercheurs ont montré que l'humus peut remplacer les ions phosphates adsorbés par les minéraux argileux et les alumino-silicates artificiels.

Le but du présent travail est d'étudier l'influence de l'acide humique sur l'assimilabilité et la fixation de phosphates par le sol.

TECHNIQUE.

20 g. de sol sont placés dans des fioles d'erlenmeyer et additionnés d'un volume connu d'une solution de phosphate monocalcique. Les fioles sont agitées de façon intermittente, après une semaine les échantillons sont filtrés et lavés à l'eau distillée pour déplacer les phosphates non fixés par le sol. On détermine dans le filtrat la quantité de phosphates par précipitation du phosphomolybdate, la quantité de phosphate fixé par le sol est déterminée par différence.

- RESULTATS -

Tableau I

20 g de sol avec ou sans acide humique + 73,9 5 mg $P_2O_5$ (100 cc Ca $(H_2PO_4)_2$ en solution).

| | $P_2O_5$ retrouvé mg | $P_2O_5$ fixé mg | $P_2O_5$ fixé % |
|---|---|---|---|
| Sol (Témoin) | 36,62 | 37,33 | 50,4 |
| Sol + 0,1 % acide humique. | 36,96 | 37,33 | 50,4 |
| Sol + 0,2 % acide humique. | 35,82 | 38,13 | 51,5 |
| Sol + 0,5 % acide humique. | 36,07 | 37,88 | 52,6 |
| Sol + 1,0 % acide humique. | 38,75 | 35,20 | 47,7 |
| Sol + 2,0 % acide humique. | 40,39 | 33,56 | 45,3 |

Tableau II

20 g de sol avec ou sans acide humique + 147,9 mg $P_2O_5$ (200 cc Ca $(H_2PO_4)_2$ en solution).

| | $P_2O_5$ retrouvé mg | $P_2O_5$ fixé mg | $P_2O_5$ fixé % |
|---|---|---|---|
| Sol (Témoin) | | | |
| Sol + 0,1 % acide humique | 91,56 | 56,34 | 38,0 |
| Sol + 0,2 % acide humique | 93,87 | 54,03 | 36,5 |
| Sol + 0,5 % acide humique | 96,81 | 51,09 | 34,5 |
| Sol + 1,0 % acide humique | 99,27 | 46,63 | 32,8 |
| Sol + 2,0 % acide humique | 102,98 | 44,92 | 30,4 |

Tableau III

20 g de sol + avec ou sans acide humique + 147,90 mg $P_2O_5$ (100 cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution).

| | $P_2O_5$ retrouvé mg | $P_2O_5$ fixé mg | $P_2O_5$ fixé % |
|---|---|---|---|
| Sol (Témoin) | | | |
| Sol + 0,1 % acide humique | 67,56 | 80,34 | 54,3 |
| Sol + 0,2 % acide humique | 64,75 | 83,15 | 56,2 |
| Sol + 0,5 % acide humique | 62,92 | 84,91 | 57,4 |
| Sol + 1,0 % acide humique | 70,40 | 77,47 | 52,3 |
| Sol + 2,0 % acide humique | 72,03 | 75,03 | 50,7 |

.....

Tableau IV

20 g de sol + avec ou sans acide humique + 295,8 mg $P_2O_5$ (400 cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution).

| | $P_2O_5$ retrouvé mg | $P_2O_5$ fixé mg | $P_2O_5$ fixé % |
|---|---|---|---|
| Sol (Témoin) | 208,4 | 87,4 | 29,6 |
| Sol + 0,1 % acide humique | 208,4 | 87,4 | 29,6 |
| Sol + 0,2 % acide humique | 200,5 | 95,3 | 32,2 |
| Sol + 0,5 % acide humique | 209,6 | 86,2 | 29,1 |
| Sol + 1,0 % acide humique | 210,2 | 85,6 | 28,9 |
| Sol + 2,0 % acide humique | 212,2 | 83,7 | 28,2 |

Tableau V

20 g de sol + avec ou sans acide humique + 295,8 mg $P_2O_5$ (100 cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution).

| | $P_2O_5$ retrouvé mg | $P_2O_5$ fixé mg | $P_2O_5$ fixé % |
|---|---|---|---|
| Sol (Témoin) | 174,5 | 121,3 | 41,0 |
| Sol + 0,1 % acide humique | 173,9 | 121,9 | 41,2 |
| Sol + 0,2 % acide humique | 170,8 | 125,0 | 42,2 |
| Sol + 0,5 % acide humique | 175,1 | 120,7 | 40,8 |
| Sol + 1,0 % acide humique | 180,0 | 115,8 | 39,1 |
| Sol + 2,0 % acide humique | 180,0 | 115,8 | 39,1 |

DISCUSSION.

Les résultats (Tableaux 1,2,3,4,5 et fig 4) montrent que la fixation des phosphates par le sol diminue en présence de 1 et 2 % d'acide humique. En présence de ces quantités d'acide humique les pH des suspensions de sol sont respectivement 5,6 et 4,8. Pour ces valeurs basses du pH l'acide humique forme des complexes avec le fer et l'aluminium réduisant la fixation du phosphate.

Cependant, en présence de 0,2 % et 0,5 % d'acide humique la fixation de l'acide phosphorique par le complexe argilo-humique semble légèrement accrue par formation de complexes phospho-humiques. Les pH de suspension de sol en présence de 0,2 et 0,5 % d'acide humique sont respectivement de 6,6 et 6,2. CHAMINADE (83) a montré que la formation de ces complexes n'était possible que si le pH du sol dépassait 5,5. Les travaux de BOTTINI (84) aboutissent aux mêmes conclusions. L'accroissement de l'assimilabilité de l'acide phosphorique en présence d'acide humique et en milieux neutres ou peu acides a été établi par CHAMINADE (81) et WOJCIECHOWSKI (85) (voir NIKLEWSKI). La fixation est accrue lorsque la concentration en phosphate de la solution augmente. La relation entre la fixation du phosphate et sa concentration suit la loi de FREUNDLICH (86,87,88,89). D'après FISCHER (90) ce fait ne signifie pas qu'il s'agit nécessairement d'une réaction d'adsorption car la loi de FREUNDLICH se vérifie également dans le cas de réactions de précipitation.

Il ressort également des résultats précédents que à quantité globale constante de phosphate, la fixation diminue, lorsque le rapport $\frac{\text{eau}}{\text{sol}}$ augmente, par suite de la dilution de la solution.

## - CHAPITRE V -

# Influence de l'acide humique sur la fixation du potassium échangeable par un sol.

Lorsque du potassium est ajouté au sol sous forme d'engrais minéraux, de fumier ou de résidus de récoltes, la majeure partie est fixée par le complexe absorbant sous forme échangeable.

Sous cette forme il est facilement utilisable par les plantes, car il peut repasser en solution par échange avec d'autres cations, notamment avec les ions H+ résultant de l'excrétion de $CO_2$ par les racines. De nombreux travaux ont montré (91,92) que, sous certaines conditions, une partie du potassium échangeable peut passer sous forme non échangeable, plus difficilement utilisable par les végétaux.

KELLNER (93) en 1887 a montré le premier que d'importantes quantités de potassium ajoutées au sol sous forme de ses sels solubles subissaient une évolution telle qu'il était impossible de les déplacer par des acides bouillants. DYER (94) en 1894 en établissant le bilan du potassium dans des parcelles expérimentales de longue durée à Rothamsted montra qu'une fraction importante du potassium ajouté était devenue difficilement assimilable par les récoltes.

Depuis, ce phénomène de fixation du potassium a fait l'objet d'un nombre considérable de travaux.

La fraction minérale du sol est responsable de la fixation à l'état non échangeable (ou rétrogradation) du potassium.

JOFFE et KOLODNY (95) montrèrent que la matière organique ne fixait pas le potassium sous forme non échangeable. TRUOG et JONES (96) ainsi que d'autres auteurs (97,98,99) ont établi que l'addition au sol de la matière organique diminuait la rétrogadation. BARBIER (100) a confirmé le fait dans le cas d'addition au sol de colloïdes humiques.

DEUEL (101) montra que l'ion K+ semblait avoir une faible affinité à l'égard de l'humus contrairement aux ions H+, Ca++ , Mg++ et les métaux lourds.

JONES (102) n'a pu mettre en évidence la fixation de K par l'acide humique.

Les recherches exposées ci-après ont été entreprises en vue d'étudier l'influence de l'addition d'humus sur la fixation du potassium par un sous-sol pratiquement dépourvu de matière organique.

Techniques. - 20 g de sol, additionnés ou non d'acide humique ont été agités avec des solutions de KCl et filtrés après une nuit de contact. Les échantillons étaient lavés à l'eau pour éliminer le potassium non fixé.

Le sol était ensuite percolé par 500 cc d'une solution N/2 d'acétate de Magnésium. Dans le filtrat le potassium était déterminé au photomètre.

Un échantillon témoin non additionné de KCl était extrait dans les mêmes conditions par $(CH_3\ COO)2\ Mg$ et le potassium déplacé dosé par la même méthode.

Les tableaux suivants donnent les quantités de potassium échangeable retrouvées, par différence avec les témoins non additionnés de sels de potassium.

- RESULTATS -

Tableau I

| 20 g de sol + 7,5 Mg $K_2O$ (50 cc sol KCl) | mg $K_2O$ retrouvé | K fixé à l'état échangeable p.100 de la quantité ajoutée. |
|---|---|---|
| Sol sans ac. humique | 4,07 | 54,3 |
| Sol avec 0,1 % avec ac. humique | 4,27 | 57,0 |
| Sol avec 0,2 % ac. humique | 4,70 | 62,7 |
| Sol avec 0,5 % ac. humique | 4,85 | 64,8 |
| Sol avec 1,0 % ac. humique | 5,00 | 66,7 |
| Sol avec 2,0 % ac. humique | 5,10 | 68,0 |

Tableau II

20 g de sol + 15 mg $K_2O$ (100 cc sol KCl)

| | Mg $K_2O$ retrouvé | K fixé à l'état échangeable p.100 de la quantité ajoutée. |
|---|---|---|
| Sol sans ac. humique | 6,61 | 44,0 |
| Sol avec 0,1 % ac. humique | 6,75 | 45,0 |
| Sol avec 0,2 % ac. humique | 7,00 | 46,6 |
| Sol avec 0,5 % ac. humique | 7,20 | 48,0 |
| Sol avec 1,0 % ac. humique | 7,40 | 49,4 |
| Sol avec 2,0 % ac. humique | 8,10 | 54,0 |

Tableau III

20 g de sol + 15 mg $K_2O$ (50 cc Sol KCl)

| | | |
|---|---|---|
| Sol sans ac. humique | 8,50 | 56,6 |
| Sol avec 0,1 % ac. humique | 9,80 | 65,3 |
| Sol avec 0,2 % ac. humique | 9,90 | 66,0 |
| Sol avec 0,5 % ac. humique | 10,00 | 66,6 |
| Sol avec 1,0 % ac. humique | 10,10 | 66,7 |
| Sol avec 2,0 % ac. humique | 10,10 | 66,7 |

Une autre série d'expériences a été réalisée pour étudier la fixation du potassium à pH 7,0. 20 g de sol sont placés dans des béchers en présence de 30 cc de $CH_3$ COO Na, N pour tamponner le milieu. Quelques gouttes de NaOH ou ClH sont ajoutées pour amener le pH à 7,0. La solution de chlorure de potassium est ajoutée au mélange. La suite des opérations est réalisée comme précédemment.

Tableau IV

20 gm sol + 15 mg K (50 cc sol KCl) volume total 100 cc.

| | pH | mg K retrouvé | K fixé à l'état échangeable p.100 de la quantité ajoutée. |
|---|---|---|---|
| Sol sans ac. humique | 7 | 12 | 80,0 |
| Sol avec 0,2 % ac. humique | 7 | 13 | 86,6 |
| Sol avec 0,5 % ac. humique | 7 | 14 | 93,3 |
| Sol avec 1,0 % ac. humique | 7 | 14 | 93,3 |
| Sol avec 2,0 % ac. humique | 7 | 14 | 93,3 |

Tableau V

20 g de sol + 30 mg K (100 cc sol KCl) volume total 100 cc

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sol sans ac. humique | 7 | 17 | 56,6 |
| Sol avec 0,2 % ac. Humique | 7 | 18 | 60,0 |
| Sol avec 0,5 % ac. humique | 7 | 19 | 63,3 |
| Sol avec 1,0 % ac. humique | 7 | 18,5 | 61,6 |
| Sol avec 2,0 % ac. humique | 7 | 20,0 | 66,6 |

Tableau VI

20 g de sol + 30 mg K (50 cc sol KCl) volume total 150 cc.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sol sans ac. humique | 7 | 14 | 46,6 |
| Sol avec 0,2 % ac. humique | 7 | 15 | 50,0 |
| Sol avec 0,5 % ac. humique | 7 | 15 | 50,0 |
| Sol avec 1,0 % ac. humique | 7 | 18 | 60,0 |
| Sol avec 2,0 % ac. humique | 7 | 19 | 63,3 |

DISCUSSION - Les résultats précédents (Tableau 1, 2, 3 et graphique 5) montrent que la quantité de potassium fixé à l'état échangeable s'élève lorsque la teneur du sol en acide humique croît.

L'humus intervient ainsi pour fixer le potassium sous forme assimilable par les végétaux. Ces résultats sont en accord avec ceux de Wiklander (103) qui a montré que, dans les sols organiques, la majeure partie du potassium était sous forme échangeable. CHAMINADE (104) a établi qu'en présence de 1,2 % de paille humifiée, il y avait un accroissement de 39 % de l'absorption du potassium par les plantes.

L' élévation de la concentration en potassium de la solution au contact du sol se traduit par une fixation plus élevée sur le complexe. Le potassium en solution est en équilibre avec le potassium échangeable Ks $\rightleftarrows$ Ke. L'augmentation de la concentration de la solution déplace l'équilibre vers la droite.

A pH 7,0, la fixation du potassium (Tableaux 4,5,6 et fig 6) est dans tous les échantillons plus élevée qu'en milieu acide. La présence d'acide humique se traduit également par un accroissement de la fixation par rapport aux témoins sans humus.

## - CHAPITRE VI -

# Influence de l'acide humique sur la croissance et la nutrition minérale des végétaux.

La matière organique des sols renferme, comme éléments constitutifs, de l'Azote et de nombreux éléments minéraux. La quantité totale d'Azote, par exemple, présente dans les réserves organiques, peut atteindre plus de 3 tonnes par ha.

Au cours de la décomposition des matières organiques, les éléments qu'elles renferment se minéralisent et deviennent utilisables par les végétaux.

Il serait cependant inexact de limiter le rôle de la matière organique dans la nutrition des végétaux à la formation d'éléments résultant de la minéralisation.

Les anciens agronomes, physiologistes et chimistes considéraient la matière organique comme le principal aliment des plantes.

THAER (1o5) au début du XIXe siècle exposa la théorie humique de la nutrition végétale - DE SAUSSURE en 1842 pensait que ses expériences montraient de façon définitive que l'acide humique et les substances extraites de la tourbe par l'eau étaient absorbées par les plantes. Peu de temps avant la publication de la Théorie minérale, réfutant la Théorie humique, MULDER (106) en 1840 montra que les composés humiques avaient une influence sur le développement des plantes.

SCHREINER et SHOREY (24) dans la période de 1908 à 1930 isolèrent du sol plus de quarante composés organiques appartenant à différents groupes. Ces recherches contribuèrent à la compréhension des relations entre les plantes et le sol mais n'apportèrent aucune donnée sur l'action spécifique des substances humiques sur la croissance des plantes.

BOTTOMLEY (107) observa que la croissance d'algues du genre Lemna en milieu minéral, était très faible mais que l'addition de petites quantités d'extrait de tourbe avait un effet positif sur le développement des végétaux. Il

attribua cet effet à une "auxine" dont le rôle se rapprocherait de celui des Vitamines sur l'organisme animal.

Les conclusions de même ordre furent obtenus par CLARK et ROLLER (108) WOLF (109) ASHBY (110).

L'effet stimulant de composés solubles, obtenus à partir de résidus végétaux en décomposition, sur la croissance des plantes supérieures a été expliqué par la même hypothèse.

MOCKERIDGE (111) HELLITZER (112) CHAMINADE (113)

Dans ses recherches sur l'utilisation des lignites comme fertilisants LIESKE (114,115) conclut que l'effet positif était dû à la présence d'acide humique libre.

Cependant, SIDDAPPA et coll. (116) ne purent mettre en évidence aucune stimulation de la croissance de l'orge en culture sur sable, par addition de petites quantités de constituants solubles à l'eau extraits de fumures organiques.

L'injection à différentes plantes de petites quantités d'extraits organiques provoque une stimulation marquée de la croissance et de la floraison VIRTANEN et HANSEN (117) IYENGER (118)

Les travaux récents réalisés dans différents pays ont mis en évidence l'intervention des substances humiques sur les processus physiologiques et biochimiques chez les végétaux PRAT (119,120) CHAMINADE (121,122) FLAIG (123) NIKLEWSKI (124,125) GUMINSKI (126) KHRISTEVA (127).

Les principaux résultats de ces recherches établissent que les acides humiques et fulviques extraits de tourbes, de charbons fossiles, de sols, et de terreaux ont une action physiologique importante sur les végétaux supérieurs lorsqu'ils sont ajoutés en petite quantité aux solutions nutritives en culture

dans l'eau ou sur support sableux.

L'intervention de l'acide humique dans les processus physiologiques chez les végétaux a une grande importance pratique.

Les essais décrits ci-après ont été entrepris pour étudier l'action d'un acide humique extrait de terreau sur le développement et la nutrition minérale du ray-grass cultivé sur un sous-sol de limon, pratiquement dépourvu d'humus.

Technique :

EXTRACTION et PURIFICATION de l'ACIDE HUMIQUE -

L'acide humique est extrait d'un terreau par une solution d'oxalate d'ammonium à 3 %. Le filtrat est précipité par HCl, N. Le précipité est lavé à l'eau jusqu'à élimination du chlore et de l'oxalate d'ammonium. Il est ensuite remis en suspension dans l'eau. La suspension est dialysée pour éliminer les traces d'électrolytes restants.

PREPARATION du SOL -

Le sol utilisé dans cet essai est un sous-sol de limon pratiquement dépourvu d'humus. Ce sol est mélangé avec la suspension d'acide humique, les quantités ajoutées correspondent à : 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; et 1 d'acide humique pour 100 de sol.

Le mélange est séché à la température ordinaire, puis tamisé au tamis de 2 mm.

CULTURES-

1 Kg de sol est placé dans des pots de polyéthylène de 9 x 9 x 13 cc Le volume de ces pots est légèrement supérieur à 1 litre.

Les éléments nutritifs suivants ont été ajoutés à chaque pot.

| | |
|---|---|
| $PO_4 H_2 K$ | 0,383 g |
| $CO_3 H K$ | 1,383 g |
| $SO_4 Mg, 7H_2O$ | 0,500 g |

correspondant à 0,200 g $P_2O_5$, 1 gr $K_2O$, 0,08 g MgO

Oligo éléments.

Solution A

| | |
|---|---|
| $SO_4 Mn$ | 0,750 g/litre |
| $SO_4 Ca$ | 0,075 g/litre |
| $SO_4 Zn$ | 0,050 g/litre |

Solution B

| | |
|---|---|
| $BO_4 H_3$ | 0,150 g/litre |
| $Mo O_4 (NH_4)_2$ | 0,050 g/litre |

2 cc de chaque solution A et B par pot.

L'humidité était maintenue dans chaque pot aux 2/3 de la capacité de saturation. Chaque traitement comportait deux répétitions.

| | |
|---|---|
| $X_1$ , $X_2$ | sans ac. humique |
| $Y_1$ , $Y_2$ | avec 0,1 % ac. humique |
| $Z_1$ , $Z_2$ | avec 0,2 % ac. humique |
| $A_1$ , $A_2$ | avec 0,5 % ac; humique |
| $B_1$ , $B_2$ | avec 1 % ac. humique |

Semis : 1000 grains de Ray-Grass correspondant à un poids de 1,14 g étaient répartis régulièrement à la surface du pot et recouverts de sable maintenu humide.

Addition d'Azote - Chaque semaine, avant l'arrosage 100 mg d'Azote étaient ajoutés sous forme d'une solution de $(NO_3)$ 2 Ca (5 cc d'une solution à 20 mg N par cc).

La première addition d'azote a été effectuée après une semaine de culture.

Coupes - La première coupe a été faite cinq semaines après le semis et les coupes suivantes à des intervalles de trois semaines. Au total, 6 coupes ont été effectuées.

Les récoltes étaient désséchées à l'étuve à 80° jusqu'à poids constant.

L'Azote total était dosé par la méthode Kjeldahl avec réduction des nitrates, le phosphore par réduction du phosphomolybdate et colorimétrie, le potassium au photomètre de flamme, le calcium et le magnésium par l'E.D.T.A.

## - RESULTATS -

### Tableau I

Poids de matière sèche dans chaque coupe (g . par coupe)

| Date | 20/6/61 | 11/7/61 | 1/8/61 | 22/8/61 | 12/9/61 | 3/10/61 | Total gr. | p.100 du Témoin |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Traitement. | 1ere coupe | 2eme coupe | 3eme coupe | 4eme coupe | 5eme coupe | 6eme coupe | | |
| X | 4,90 | 5,85 | 4,57 | 2,11 | 0,64 | 0,04 | 18,11 | 100 |
| Y | 5,04 | 6,08 | 4,49 | 2,01 | 0,84 | 0,25 | 18,7 | 103 |
| Z | 5,10 | 6,03 | 4,64 | 2,58 | 1,11 | 0,34 | 19,70 | 110 |
| A | 5,25 | 6,25 | 5,20 | 2,60 | 1,43 | 0,64 | 21,37 | 118 |
| B | 5,40 | 6,26 | 5,78 | 2,94 | 1,69 | 0,82 | 22,89 | 126 |

Tableau II

N total dans chaque coupe (N pour 100 de matière sèche).

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| X | 4,326 | 4,120 | 3,598 | 4,700 | 6,045 |
| Y | 4,329 | 4,083 | 4,011 | 4,781 | 6,380 |
| Z | 4,655 | 4,256 | 4,032 | 4,752 | 6,085 |
| A | 4,805 | 4,415 | 4,109 | 4,821 | 5,530 |
| B | 4,637 | 4,340 | 3,914 | 4,902 | 5,345 |

N prélevé par les plantes (mgr par coupe)

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total | N total absorbé pour 100 T. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 211,9 | 241,0 | 170,0 | 99,2 | 44,4 | 766,5 | 100 |
| Y | 218,2 | 248,2 | 180,1 | 96,1 | 53,6 | 796,2 | 103,9 |
| Z | 237,4 | 256,6 | 187,1 | 122,6 | 67,5 | 871,2 | 113,7 |
| A | 252,3 | 275,9 | 216,6 | 180,9 | 79,1 | 944,2 | 123,1 |
| B | 259,4 | 271,7 | 227,4 | 144,1 | 90,3 | 983,9 | 128,4 |

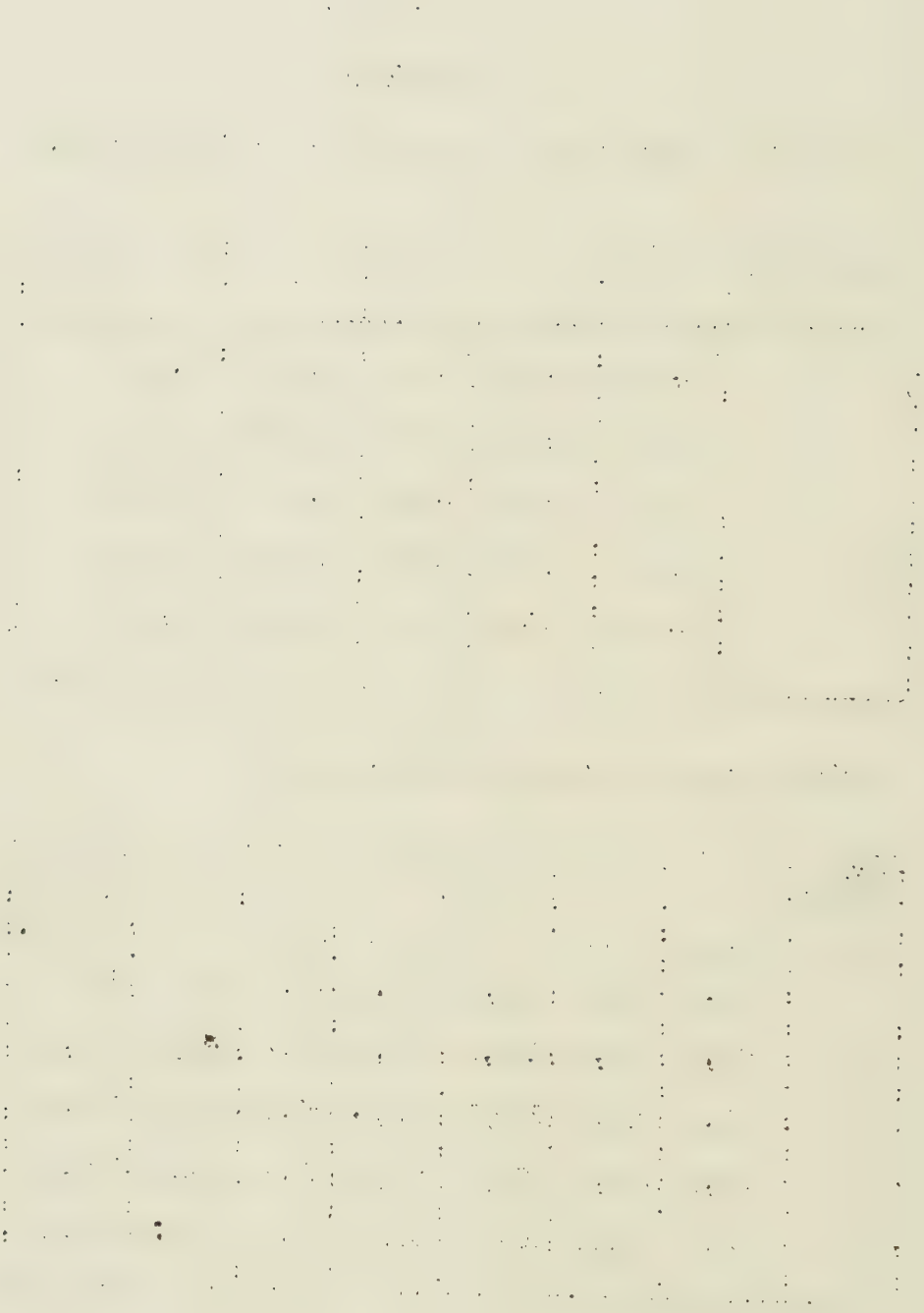


Tableau III

Phosphore dans chaque coupe (P pour 100 de matière sèche).

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| X | 0,288 | 0,224 | 0,116 | 0,145 | 0,160 |
| Y | 0,268 | 0,232 | 0,116 | 0,144 | 0,140 |
| Z | 0,272 | 0,236 | 0,152 | 0,152 | 0,144 |
| A | 0,288 | 0,236 | 0,152 | 0,164 | 0,120 |
| B | 0,300 | 0,224 | 0,140 | 0,153 | 0,112 |

Phosphore prélevé par les plantes (mg P par coupe)

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total | P total absorbé p100 T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 14,11 | 13,10 | 5,30 | 3,05 | 1,02 | 36,57 | 100,0 |
| Y | 13,60 | 14,10 | 5,20 | 2,89 | 1,17 | 36,86 | 100,8 |
| Z | 13,87 | 14,23 | 7,05 | 3,92 | 1,59 | 40,66 | 111,1 |
| A | 15,12 | 14,75 | 7,90 | 4,26 | 1,71 | 43,74 | 119,6 |
| B | 16,20 | 14,02 | 8,09 | 4,49 | 1,89 | 43,59 | 119,1 |

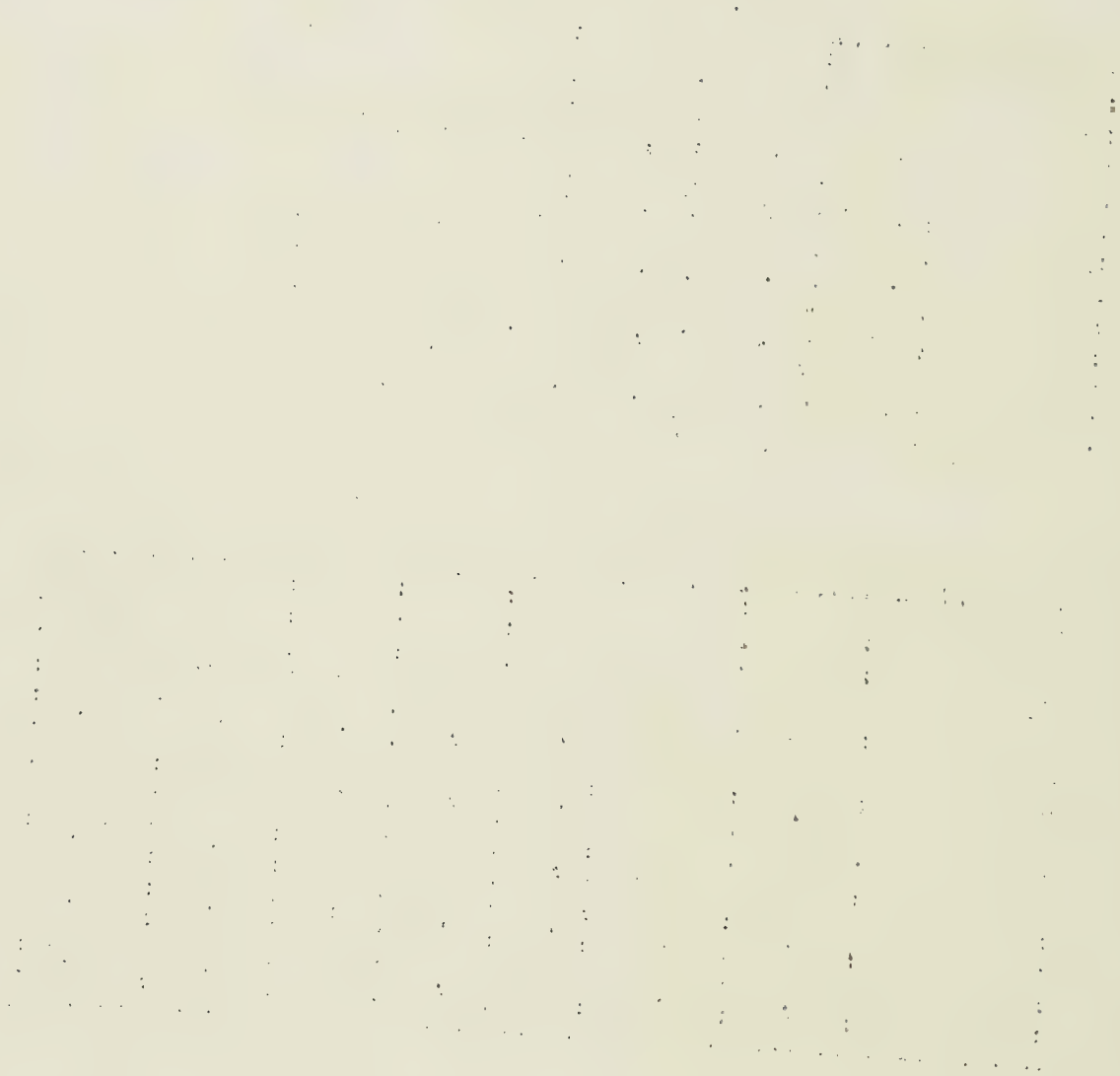


Tableau IV

Potassium dans chaque coupe (K pour 100 de matière sèche).

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| X | 4,30 | 3,40 | 2,84 | 2,40 | 2,58 |
| Y | 4,16 | 3,56 | 2,80 | 2,52 | 2,54 |
| Z | 4,32 | 3,60 | 3,40 | 2,44 | 2,64 |
| A | 4,40 | 3,56 | 3,16 | 2,44 | 2,24 |
| B | 4,45 | 3,40 | 3,12 | 2,48 | 2,20 |

Potassium prélever par les plantes (mgr K par coupe)

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | total | K t absorbé p 100 du T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 210,7 | 198,9 | 129,7 | 50,6 | 16,5 | 606,4 | 100 |
| Y | 200,6 | 216,4 | 125,7 | 50,6 | 21,3 | 623,6 | 102,8 |
| Z | 220,3 | 217,0 | 157,7 | 62,9 | 29,3 | 687,2 | 113,3 |
| A | 231,0 | 222,5 | 164,3 | 63,4 | 32,0 | 713,2 | 117,6 |
| B | 240,3 | 212,8 | 180,3 | 72,9 | 37,2 | 743,5 | 122,6 |

Tableau V

Calcium dans chaque coupe (Ca pour 100 de la matière sèche)

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| X | 3,126 | 2,513 | 2,405 | 4,569 | 4,569 |
| Y | 2,886 | 2,091 | 1,603 | 4,408 | 4,408 |
| Z | 2,645 | 1,924 | 1,763 | 3,559 | 3,527 |
| A | 2,565 | 1,683 | 1,403 | 2,725 | 2,725 |
| B | 2,244 | 1,443 | 1,323 | 2,565 | 2,565 |

Calcium prélevé par les plantes (mgr Ca par coupe)

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total | Ca tot. absorbé p100 T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 153,17 | 147,01 | 109,90 | 96,40 | 29,24 | 535,72 | 100 |
| Y | 145,45 | 127,13 | 71,97 | 88,60 | 37,02 | 470,17 | 87,7 |
| Z | 134,49 | 116,02 | 81,80 | 91,82 | 39,15 | 463,28 | 86,4 |
| A | 134,66 | 105,18 | 72,95 | 70,85 | 38,96 | 422,60 | 77,8 |
| B | 121,17 | 90;33 | 76,46 | 75,44 | 43,34 | 406,74 | 75,9 |

Tableau VI

Magnésium dans chaque coupe (Mg pour 100 de matière sèche).

| Traitemet | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| X | 0,145 | 0,380 | 0,340 | 0,483 | 0,432 |
| Y | 0,145 | 0,340 | 0,535 | 0,631 | 0,298 |
| Z | 0,181 | 0,243 | 0,408 | 0,315 | 0,461 |
| A | 0,194 | 0,340 | 0,456 | 0,412 | 0,461 |
| B | 0,242 | 0,508 | 0,539 | 0,583 | 0,486 |

Mégnésium prélevé par les plantes (mgr Mg par coupe).

| Traitement NOS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total | Mg absorbé p 100 du Témoin |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 7,41 | 20,32 | 15,57 | 10,18 | 3,08 | 56,56 | 100 |
| Y | 7,47 | 20,72 | 23,95 | 12,39 | 2,47 | 67,00 | 118,4 |
| Z | 9,22 | 14,58 | 18,92 | 8,00 | 5,18 | 55,90 | 98,4 |
| A | 10,18 | 21,34 | 21,35 | 11,84 | 6,58 | 71,29 | 126,0 |
| B | 12,99 | 31,81 | 31,14 | 17,13 | 8,21 | 101,28 | 178,0 |

DISCUSSION -

La matière sèche totale des six coupes de Ray-Grass présente une augmentation, au fur et à mesure de l'augmentation de la teneur du sol en acide humique (tableau I et fig 7). Par rapport aux Témoins sans humus, les accroissements de récolte sont respectivement de 3, 10, 18 et 26 % en présence de 0,1 ; 0,2 ; 0,5 et 1 % d'acide humique.

L'influence de l'acide humique a été plus marquée dans les dernières coupes que dans les premières. Aux cinquième et sixième coupes, les témoins sans humus, présentaient une récolte presque nulle alors qu'en présence d'humus la végétation était maintenue. Les figures 13 et 14 montrent cette différence.

L'analyse des récoltes montre un accroissement de la teneur en Azote des plantes en présence d'humus.

L'absorption totale d'azote (tableau 2 et fig 8) est accrue, d'une part en raison de l'enrichissement de la plante et d'autre part de l'augmentation de rendement.

CHAMINADE (128) a montré que, dans des cultures sur solutions nutritives l'addition à la solution de 2,5 mgr par litre d'humate de sodium augmentait l'efficacité de l'Azote. L'augmentation de l'efficacité est liée à une absorption accrue d'Azote par la plante, pour une concentration donnée de cet élément dans le sol.

Le tableau 3 et la fig 9 montrent l'augmentation de la teneur en P de la plante pour les 2e, 3e et 4e récoltes. L'absorption totale de P par l'ensemble des récoltes croît avec la teneur du sol en acide humique.

Le tableau 4 et la fig 10 représentent la teneur en K des récoltes. Celle-ci s'élève avec la richesse du sol en acide humique. CHAMINADE (129) et SAALBACH (130) ont mis en évidence cette influence de l'humus sur l'absorption du potassium.

En ce qui concerne le calcium, les résultats se présentent de façon opposée. La teneur en Calcium du Ray-Grass et l'exportation totale de cet élément (tableau 5 et graphique 11) décroissent en présence d'humus. Ce résultat confirme les observations de SAALBACH (130).

Les teneurs en Magnésium des 1re, 2éme et 3eme coupes sont plus élevées en présence d'humus que dans les Témoins. Ce fait ne se confirme pas pour les 4eme et 5eme coupes. (Tableau 6 et fig 12).

L'absorption totale de Magnésium est plus élevée en présence de 0,5 et 1 % d'acide humique.

SAALBACH et JUDEL (131) ont montré un effet indirect de la matière organique sur l'absorption du Magnésium : l'accroissement de l'activité microbienne du sol provoquait une mobilisation du Magnésium qui passerait de l'état non échangeable à une forme assimilable.

---

Fig.1

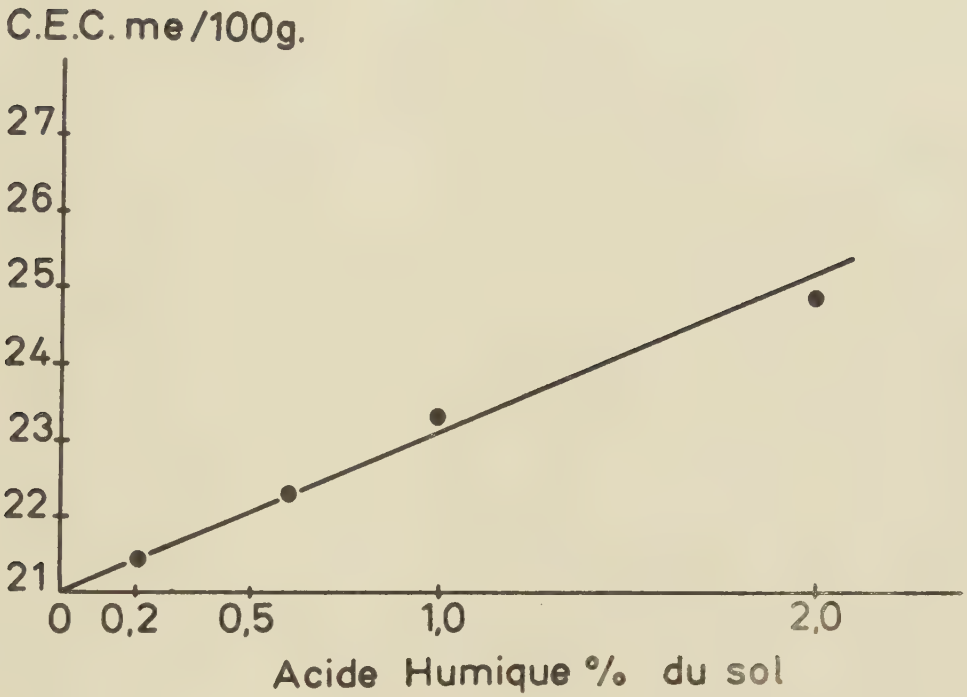


Fig.2

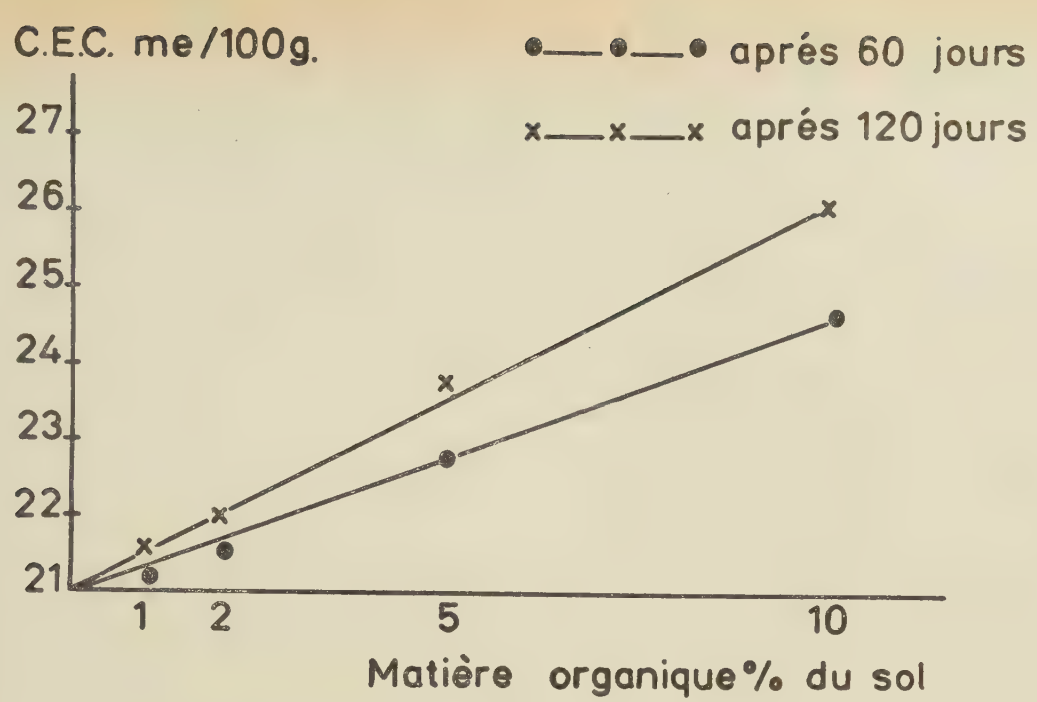

C.E.C. me/100g.
aprés 60 jours
aprés 120 jours
27
26
25
24
23
22
21
1
2
5
10
Matière organique % du sol

Fig.3

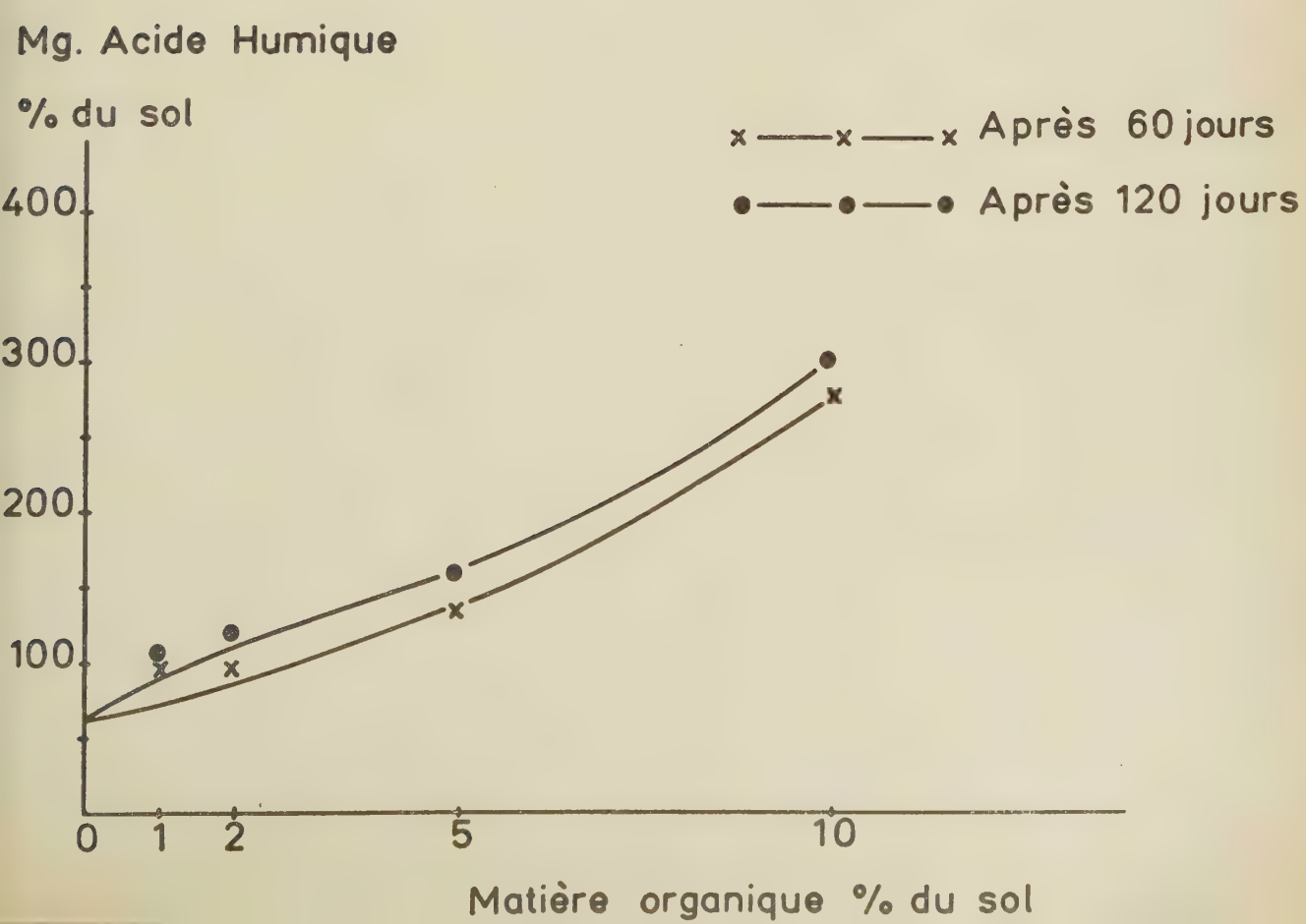

Mg. Acide Humique
% du sol
Après 60 jours
Après 120 jours
400
300
200
100
0
1
2
5
10
Matière organique % du sol

Fig. 4

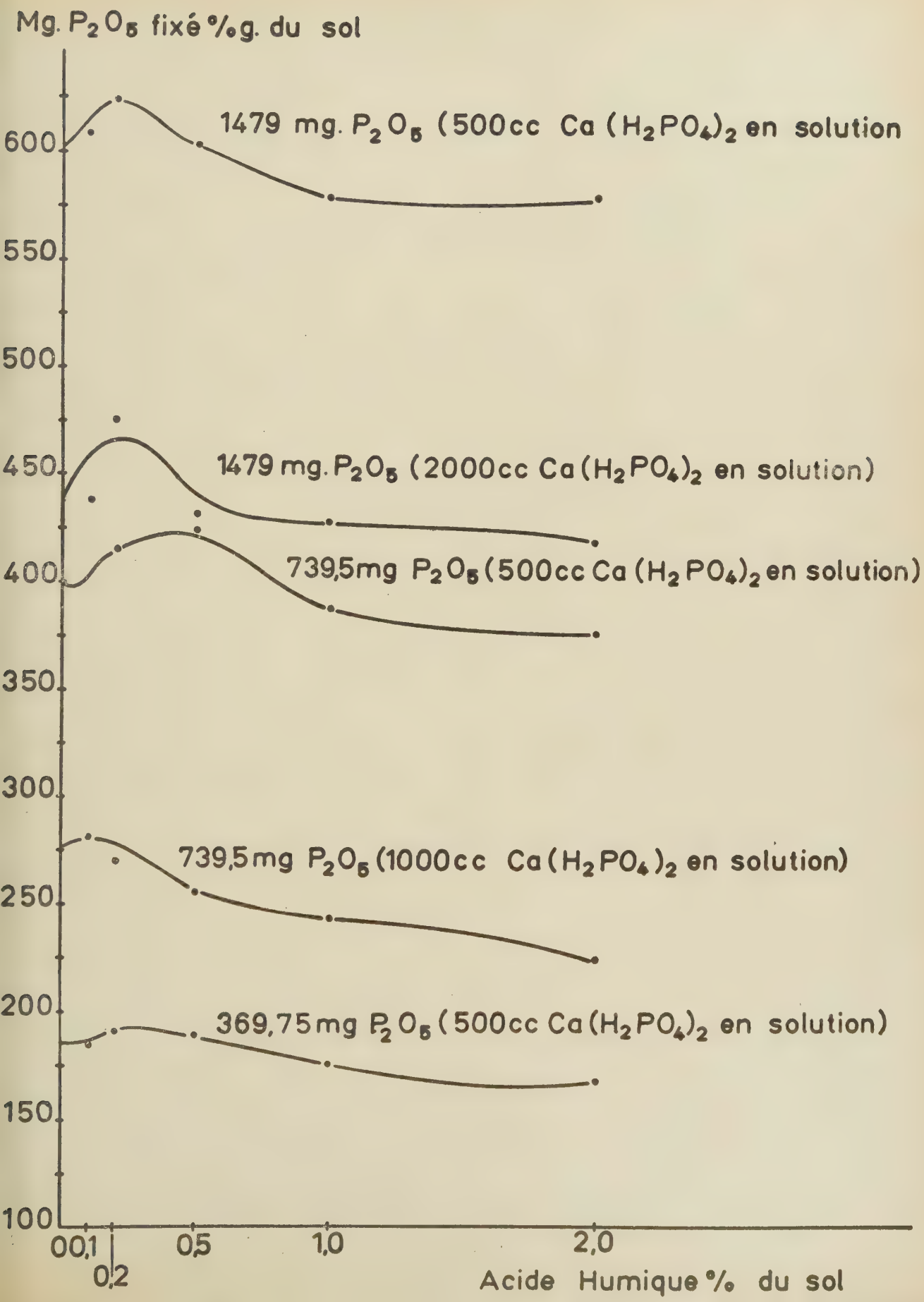

Mg. $P_2O_5$ fixé % g. du sol
1479 mg. $P_2O_5$ (500cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution
1479 mg. $P_2O_5$ (2000cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution)
739,5mg $P_2O_5$ (500cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution)
739,5mg $P_2O_5$ (1000cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution)
369,75mg $P_2O_5$ (500cc $Ca(H_2PO_4)_2$ en solution)
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
0
0,1
0,2
0,5
1,0
2,0
Acide Humique % du sol

Fig. 5

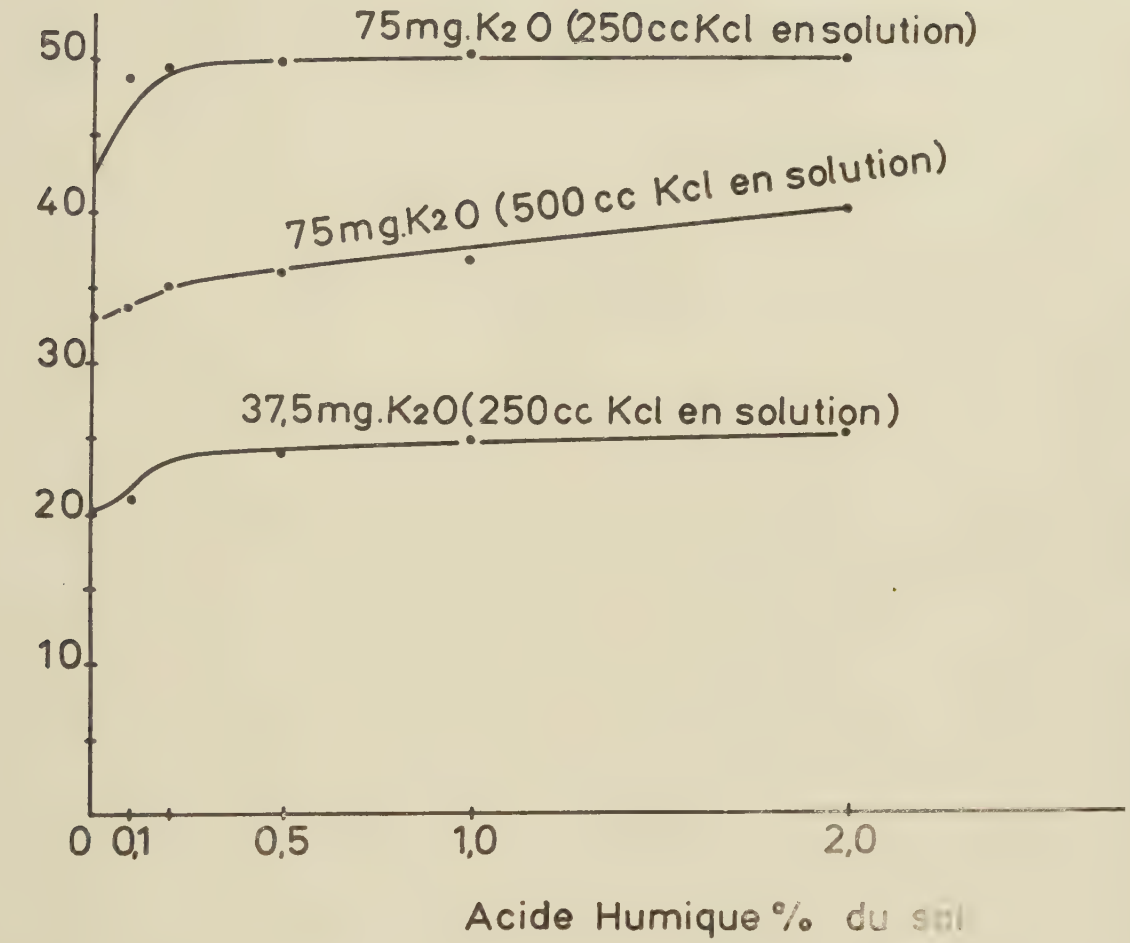

mg. $KO_2$ échangeable
% du sol
50
40
30
20
10
75mg. $K_2O$ (250cc Kcl en solution)
75mg. $K_2O$ (500 cc Kcl en solution)
37,5mg. $K_2O$ (250cc Kcl en solution)
0
0,1
0,5
1,0
2,0
Acide Humique % du sol

Fig.6

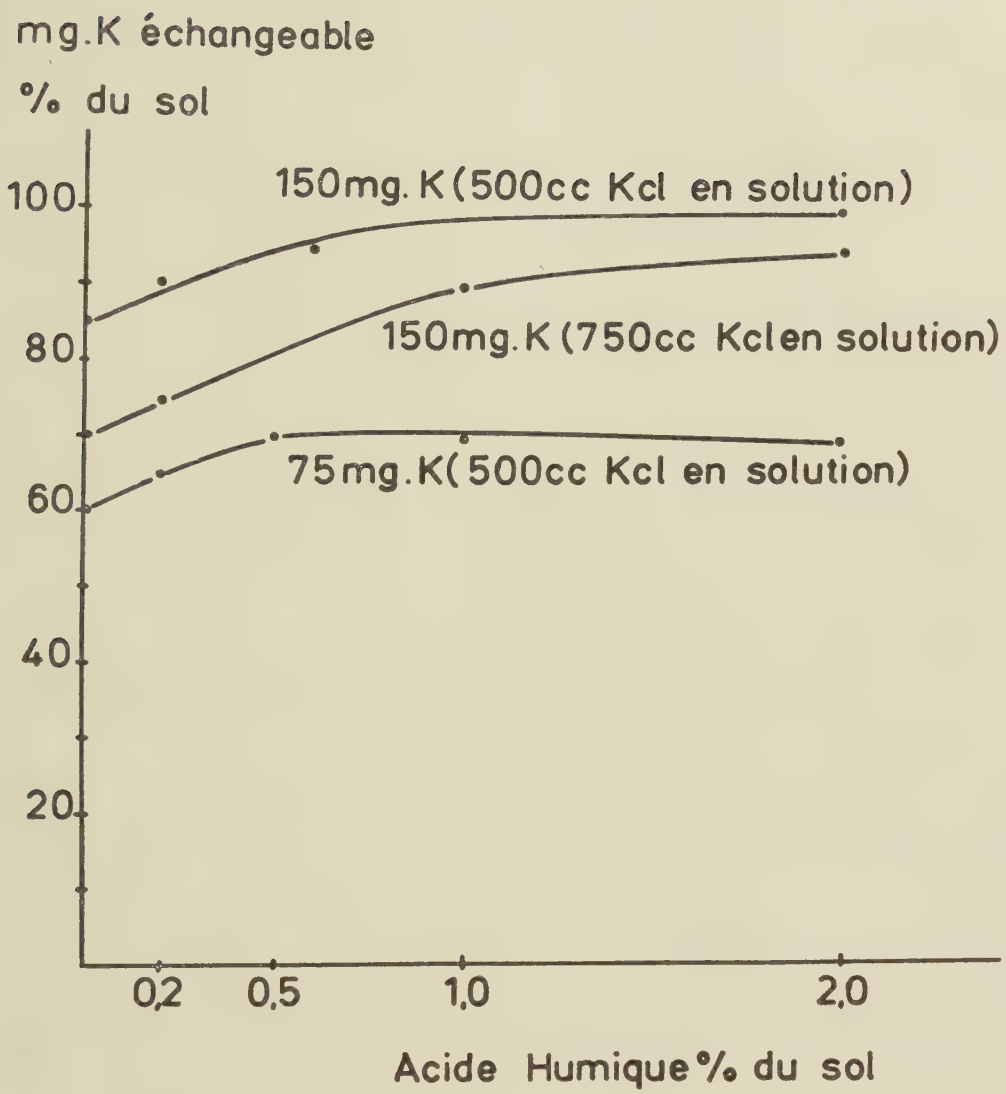

mg.K échangeable
% du sol
100
80
60
40
20
150mg. K (500cc Kcl en solution)
150mg. K (750cc Kcl en solution)
75mg. K (500cc Kcl en solution)
0,2
0,5
1,0
2,0
Acide Humique % du sol

Fig. 7

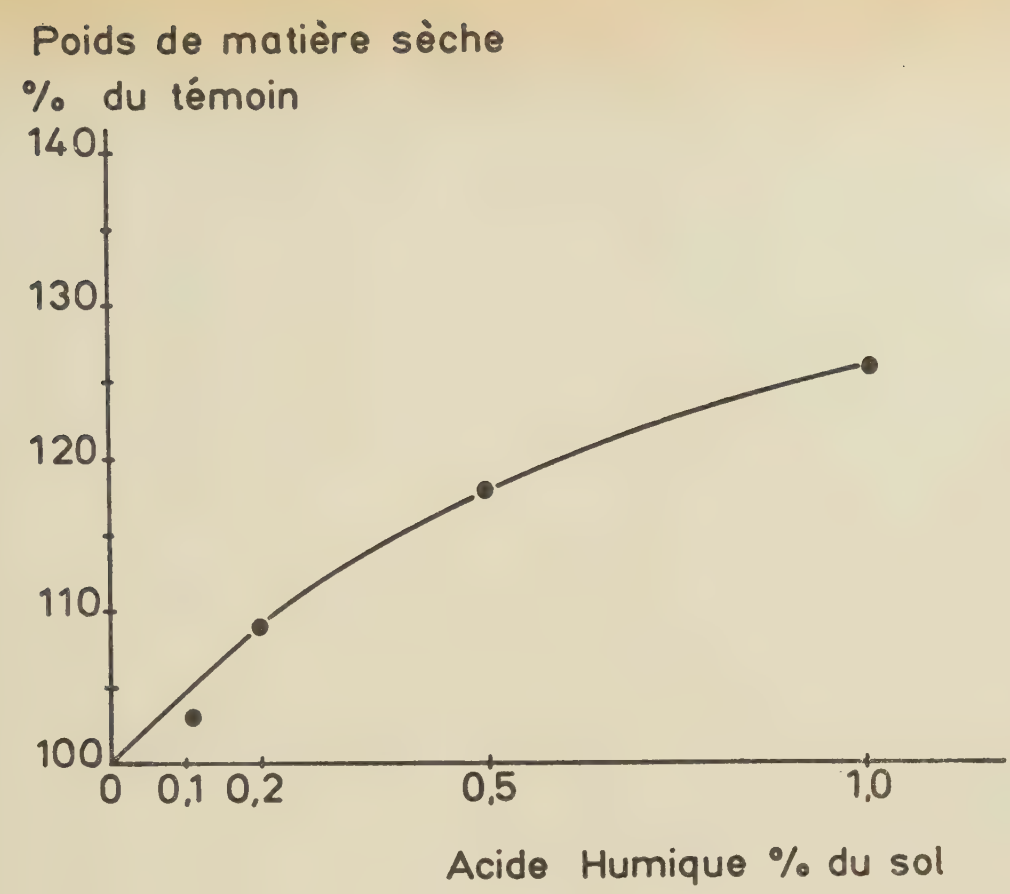

Poids de matière sèche
% du témoin
140
130
120
110
100
0
0,1
0,2
0,5
1,0
Acide Humique % du sol

Fig. 8

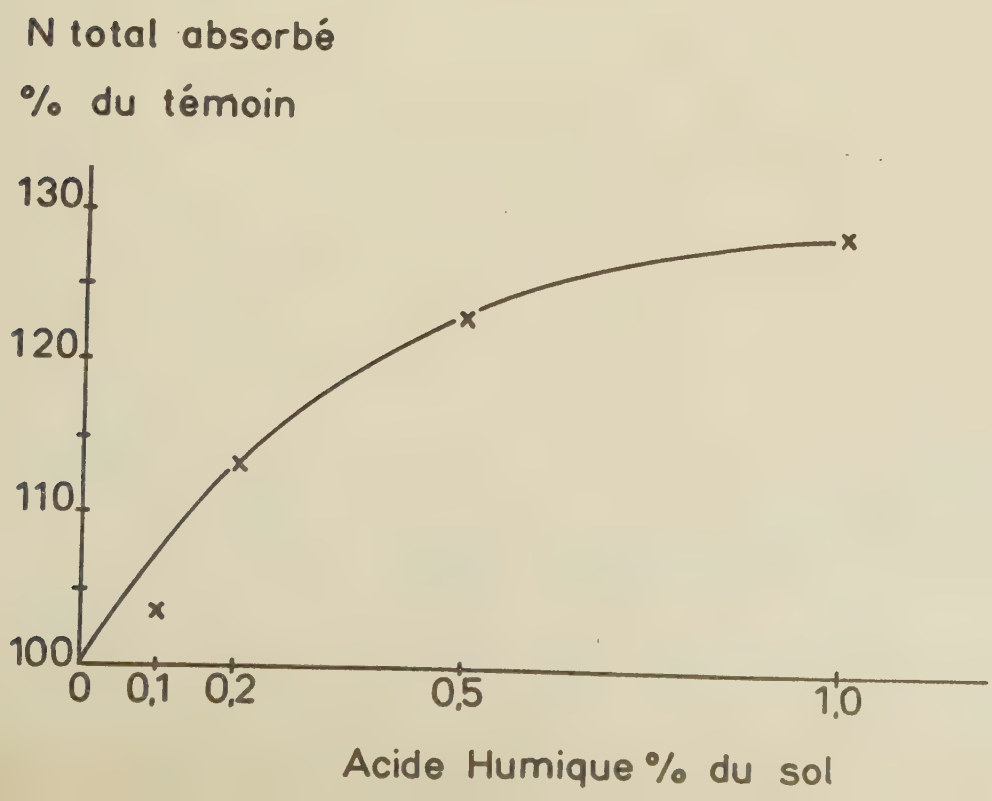

N total absorbé
% du témoin
130
120
110
100
0
0,1
0,2
0,5
1,0
Acide Humique % du sol

Fig.9

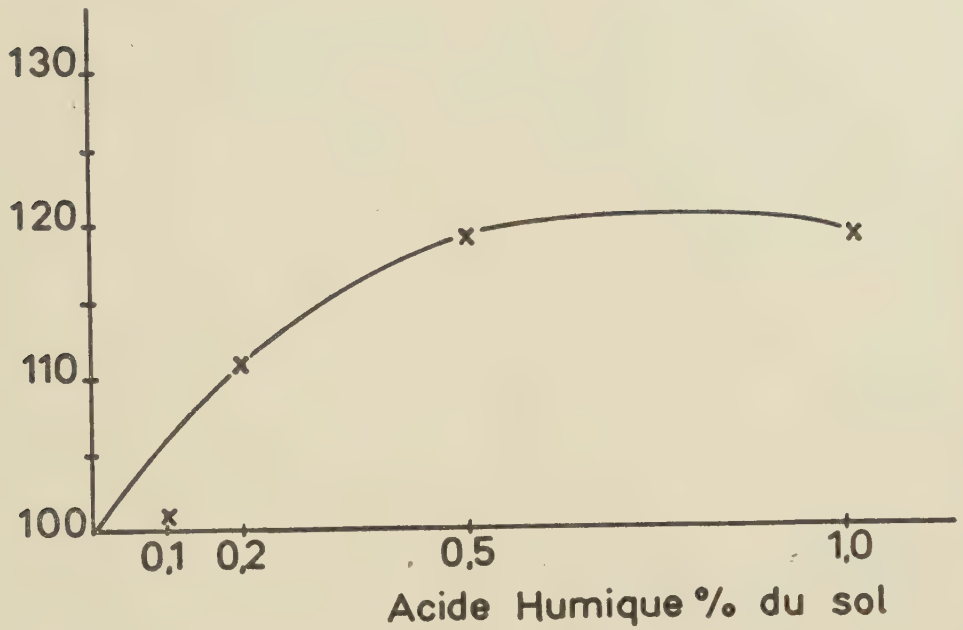
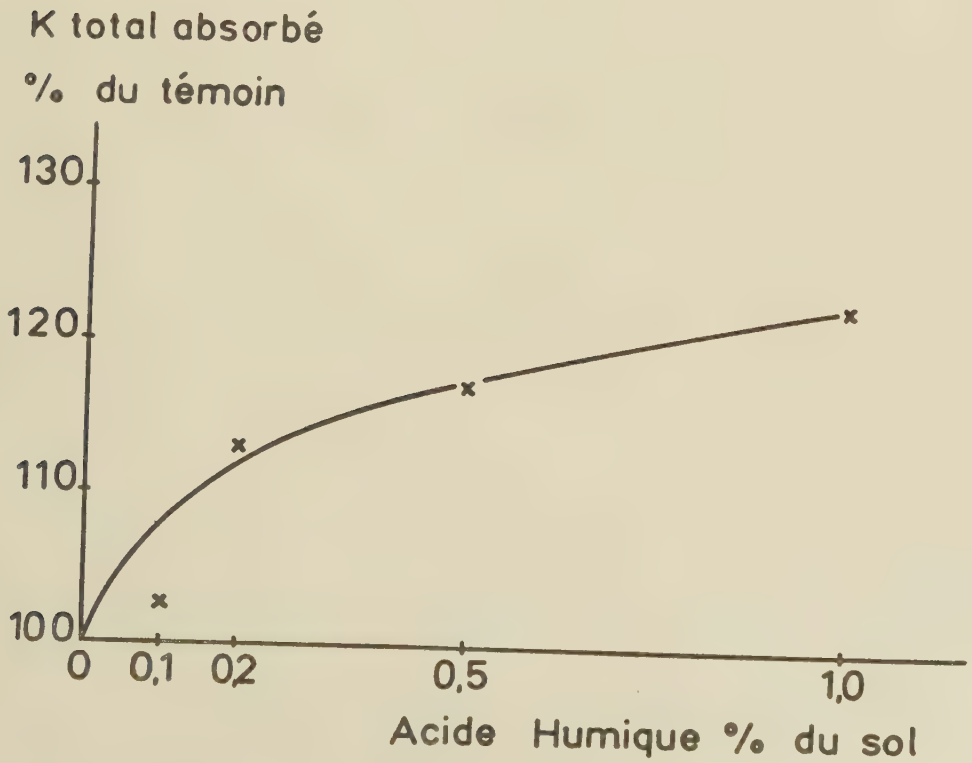

P total absorbé
% du témoin
130
120
110
100
0,1
0,2
0,5
1,0
Acide Humique % du sol

Fig.10


K total absorbé
% du témoin
130
120
110
100
0
0,1
0,2
0,5
1,0
Acide Humique % du sol

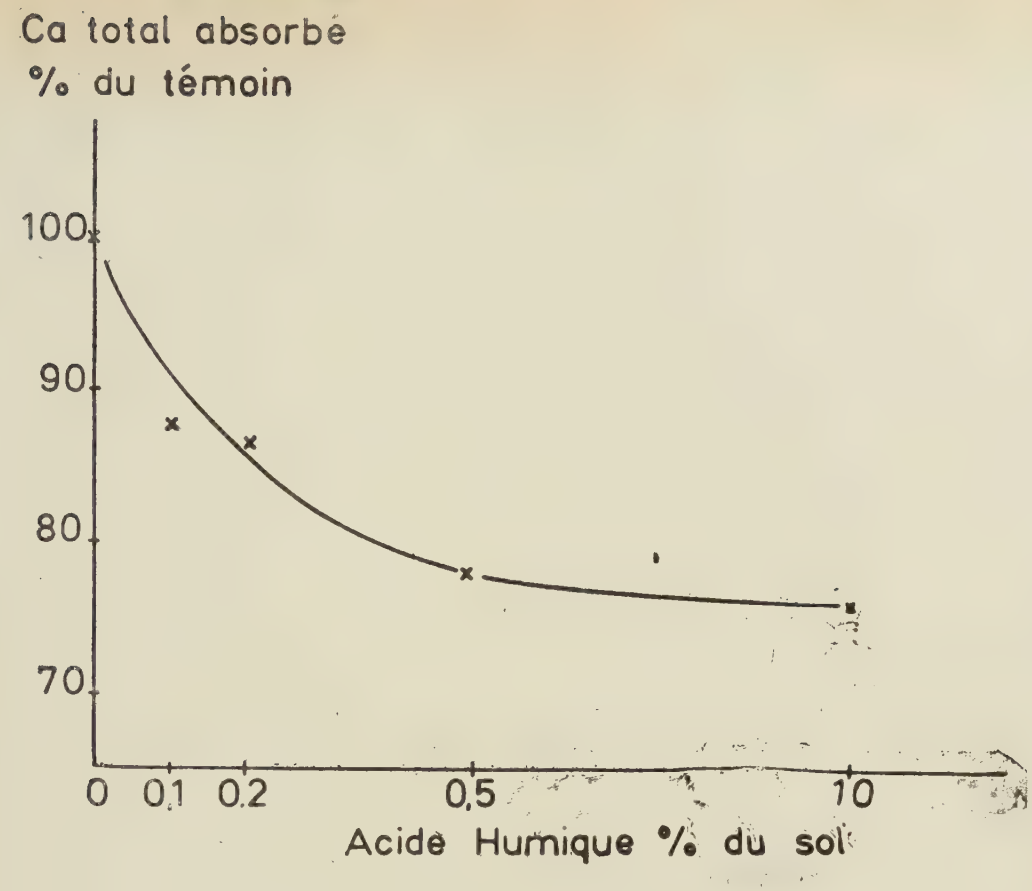
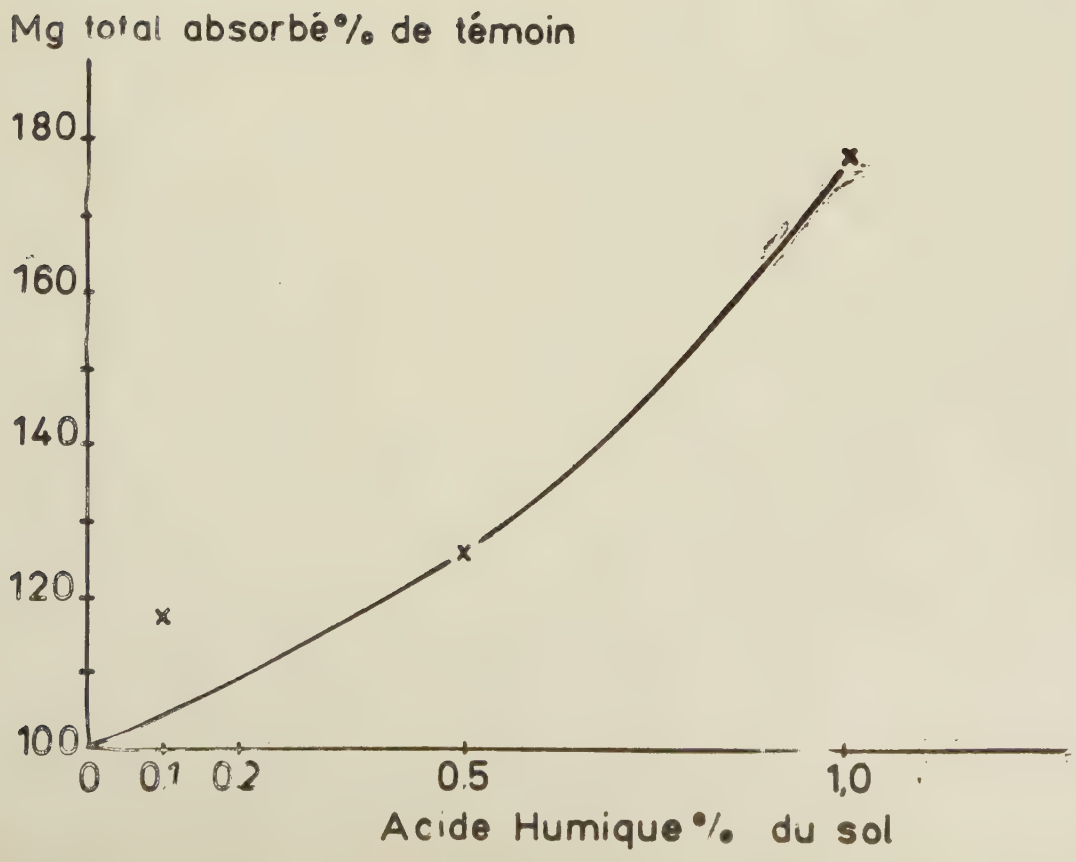

Ca total absorbé
% du témoin
100
90
80
70
0
0,1
0.2
0,5
10
Acide Humique % du sol

Fig. 12


Mg total absorbé % de témoin
180
160
140
120
100
0
0.1
0.2
0.5
1,0
Acide Humique % du sol

# RESUME

L'humus joue un rôle important dans les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

Les recherches ont porté sur l'influence de l'humus, sur la capacité d'échange de cations, l'assimilabilité et la fixation de phosphore et du potassium échangeable, la croissance et la nutrition minérale du Ray-Grass.

La capacité d'échange de cations du sol, s'accroît par addition d'acide humique. Les résultats obtenus montrent que la C.E.C. est moins élevée que la somme des capacités d'échange de l'argile et de l'humus. Ce fait est dû à ce que dans la fixation de l'humus par l'argile, des positions d'échange se trouvent masquées.

L'addition de paille au sol, montre qu'au cours de l'humification de celle-ci, la C.E.C. du sol croît. L'augmentation de la C.E.C. est d'autant plus élevée que l'humification est plus poussée.

En présence de 1 et 2 % d'acide humique, la fixation par le sol de l'acide phosphorique décroît. Les pH du sol, en présence de ces quantités d'acide humique, sont respectivement de 5,6 et 4,8. Dans ces conditions l'acide complexe le fer et l'aluminium et réduit ainsi la fixation des phosphates.

Cependant, en présence de 0,2 et 0,5 % d'acide humique, les pH étant alors de 6,6 et 6,2 la fixation d'acide phosphorique est accrue par formation de composés phospho-humiques.

La fixation d'acide phosphorique augmente lorsque la concentration de la solution de phosphate croît. A quantité constante d'acide phosphorique l'augmenta tion du rapport $\frac{\text{eau}}{\text{sol}}$ diminue la fixation.

La fixation du potassium à l'état échangeable s'accroît avec la teneur en acide humique du sol.

L'augmentation de la concentration du potassium dans la solution se traduit par un accroissement de la quantité fixée. L'équilibre Ks $\rightleftharpoons$ Ke se trouve déplacé vers la droite par élévation de la concentration.

.....

L'intervention de l'acide humique dans les phénomènes physiologiques chez les végétaux est d'une grande importance pratique. Les essais réalisés ont montré que l'addition au sol de 0,1 ; 0,2 ; 0,5 et 1 % d'acide humique se traduisait par des augmentations de rendement du Ray-Grass de 3, 10, 18 et 26 %.

L'influence de l'acide humique est plus marquée en fin de végétation qu'au début.

L'analyse des récoltes montre que la teneur en Azote de chaque coupe de Ray-Grass et l'adsorption totale de cet élément par les plantes s'accroît avec la teneur du sol en acide humique.

Il en est de même de l'absorption du phosphore et du potassium.

Par contre la teneur en Calcium et l'absorption totale de cet élément décroissent par enrichissement du sol en acide humique.

En ce qui concerne le Magnésium, l'absorption augmente considérablement en présence de 0,5 et 1 % d'acide humique.

Le prélèvement d'éléménts par le végétal dépend de la respiration qui est la source d'énergie permettant la pénétration des éléments dans les cellules radiculaires. Les fa cteurs influençant la respiration jouent, de ce fait, un rôle dans la nutrition minérale. En dehors de la température, de la lumière, de l'oxygène, des molécules organiques telles que les composés humiques, interviennent par leurs fonctions Quinone, dans les phénomènes respiratoires. C'est là, l'un des aspects du mécanisme de l'action stimulante de l'humus sur les végétaux. Cette action se traduit par des accroissements de rendement et permet de considérer la matière organique comme un important facteur de la fertilité des sols.

# BIBLIOGRAPHIE

1 - Wallerius J. 1761. Agriculturaie Fundamenta chemica, Upsala.
2 - Achard F. 1786. Chemische Untersuchung des Torf's, Grell's chem. Ann. 2, 391.
3 - De Saussure, Th. 1804. Recherches chimiques sur la végétation. Paris, Ann, 12 162.
4 - Thaer, A. 1809. The Basis of rational Agriculture.
5 - Boussingault, J. 1841. De la discussion de la valeur relative des assolements par les résultats de l'analyso élémentaire. Ann. Phys. 3, 1, 208.
6 - Liebig, J. Von. 1846. Die chemin in ihrer anwendung auf Agrikultur und Physiologie, Braunschweig.
7 - Grandeau, L. 1872. A new mineral-humic theory of plant nutrition and a new method of estimating soil fertility based on it, Sel. Khoz. Lesovod. Nov. Dec.
8 - Schloesing, Th. 1876. Sur les échanges d'ammoniaque entre d'atmosphère la terre végétale, C.R. Acad. Sci. Paris 82, 1105.
9 - Scgloesing, Th. 1902. Etudes sur la terre végétale, C.R. Acad. Sci. Paris 135, 601.
10- Kostychev, P.A. 1886. Soils of the chernozem Region of Russia. art I. The formation of chernozem. Sel'khozgiz.
11- Kostychev, P.A. 1890. Some properties of humus and its composition, Sel. Khoz. Leovod. 10, 115.
12 - Wollny, E. 1886. Untersuchungen über die Zersetzing der organischen substanzen, J. Landw. Vers Sta. 34, 213.
13 - Wollny, E. 1897. Die Zersetzung der organischen Stoffe und die Humusbildung, Heidelberg.
14 - Déhérain, P. 1888. Recherches sur les fermentations du fumier de ferme, Ann. Agric. 14, 97.
15 - Déhérain, P. et Demoussy, E. (1896) Sur l'oxidation de la matière organique du sol, Ann. Agron. Paris, 22, 305.
16 - Vinogradsky, S.N. 1896. The role of microbes in the general cycle of life. Lecture given at the General Meeting of members of the Institute of Experimental medicine.

17 - Nadson, G.A. 1903. Micro-organisms as geological agents. Trudy Komiss. Issled. Slavyan. mineral. Ozer, St. Petersburg.

18 - Omelyanskii, V.L. 1927. The role of micro-organisms in the weathering of rocks. Jubilee Collection of Papers in Memory of I.P. Borodin.

19 - Post, H. Von. 1862. Studien über die koprogenen Erbildungen unserer Tage cited by Romann (1888) Landw. JB. 17, 405.

20 - Darwin, C. 1881. The formation of vegetable mould, through the action of worms, with observation on their habits, London, John Murray.

21 - Kostychev, P.A. 1889. The formation and properties of humus, Trudy S. Pbg obshch. Estesvoispyt. 20, Otd. Bot.

22 - Müller, P. 1887. Studien über die natürlichen Humusformen, Berlin.

23 - Ramann, E. 1888. Die Arbeiten von Post über Schlamm, Moor, Torf, und Humus, Landw. Jb. 17, 405.

24 - Schreiner, O. et Shorey, E. et al. 1908. Some acid constituents of soil humus, J. Amer. Chem. Soc. 30, 1909 ibid, 31, 1910 ibid. 32, 1911, ibid, 33, U.S.D.A. Bur. Soils Bull. 53, 70, 74,77, ibid, 80, 83, 89, 90, 108.

25 - Odèn, S. 1912. Zur Kenntnis der Humussaüre des sphagnum-Torfes Berdtsch. Chem. Ges. 35, 651.

26 - Odèn, S. 1914. Zur Kolloidchemie der Humusstoffe, Kolloid Z, 14, 123.

27 - Odèn, S. 1919. Die Huminsaüren, Kolloidchem. Beih. 11, 75.

28 - Doyarenko, A.G. 1961. Humic acids as a nitrogeneous constituent of the soil. Izv. Moskov. S. kh. Inst, 6, 4.

29 - Suzuki, S. (1906-08) Studies on humus formation, Bull. Coll. Agric. Tokyo, 7, 95, 419,513.

30 - Jodidi, S. 1910. The chemical nature of the organic nitrogen in the soil, J. Amer. chem. Soc. 32, 396 ; 1911 ibid, 33, 1226 ; 1912 ibid, 34, 94 1913) J. Franklin Int. 175. 483.

31 - Kelley, W. et Thompson, A. 1914. The organic nitrogen of Hawaiian soils, J. Amer. chem. Soc. 36, 429, 434, 438.

32 - Sestini, F. 1902. Unterschungen und Bemer-Kungen über die Huminsubstanzen Chem. Zbl. 1, 182.

33 - Hoppe - Seylers, F. 1889. über Huminsubstanzen, ihre Entstehung und ihre Eigenschaften, Z. Physiol. Chem. 13, 66.

34 - Maillard, L.C. 1912. Formation d'humus et de combustibles minéraux sans interventions de l'oxygène atmosphérique, des microorganismes des hautes températures ou des fortes pressions, C.R. Acad. Sci. Paris 154, 66, 1912. ibid. 155, 1554, 1913. ibid, 156, 1159.

35 - Beijerinck, M. 1900. Uber Chinonbildung durck Streptothrixchromogena und Lebensweise dieser Mikroben, Zbl. Bakt. 2, 6.

36 - Perrier, A. 1913. Recherches sur la fermentation de quelques composés de la série cyclique et sur la formation de la matière noire de l'humus, Ann. Sci. Agron. 4, 321, 455.

37 - Bertrand, C.E. 1898. Premières conclusions générales sur les charbons humiques, C.R. Acad. Sci. Paris, 127, 767, 822.

38 - Demolon, A. 1952. La dynamique du Sol, Dunod, Paris p. 148-160.

39 - Kononova, M.M. 1961. Soil organic matter (English Edi) pages 102

40 - Pauli, F.W. 1961. Humus and Plant. Science Progress, 49, 429-431.

41 - Laatsch, W. 1944. Dynamik der dentschen Acker-und Waldhöden 2 Anfl. 81-82. Dresden und Leipzig 268 A.

42 - Laatsch, W. 1948. Untersuchungen über die Bildung und Anreicherung von Humus Stoffen. Beitr. Agrawiss III.

43 - Laatsch, W. et al. 1950. Die Bildungweise der Huminsaüren Landu. Forschung, 2, 38.

44 - Flaig, W. 1958. Die Chemie organischer Stoffe im Boden und derem physiologische wirkung. Verb. II und IV. Komm. Int. Bdkde. Ges. II. 11-45.

45 - Scheffer, F. et Schachtschabel, P. 1959. Lebrbuch der Agrikultur - Chemie und Bodenkunde I. Teil : Bodenkunde Stuttgurt. P. 243.

46 - Welte. E. 1952. Uber die Entstehung von Huminsaüren und ihre Reindarstellung. Pflernähr. Düng. 56, 105.

47 - Kononowa, M.M. 1958. Die Humusstoffe der Bodens, Berlin p 341.

48 - Mehlech, A. 1948. Determination of cation an anion exchange properties of soils, Soil Sci. 66, 429.

49 - Chaminade, R. 1946. Sur une méthode de dosage de l'humus dans les sols. Ann. Agron. 16, 117-132.

50 - Anne, P. 1945. Détermination de carbone totale. Ann. Agron. 15, 161-172.

51 - Treadwell, F.P. et Hall, W.T. Dosage de l'azote totale, analytical Chemistry, 11, 493-94.

52 - Fiske et Subbarow, Y. 1925. Biol. Chem. 66, 375

53 - Mazoyer, R. 1954. Ann. Agron. 6, 1109-1016.

54 - Rautemberg, F. 1862. Uber dic Abhängigkeit der Absorptions fä higkeit der Ackererde von den einzelnen Bestandteilen derselben - Jour. Landw. 7, 403-454.

55 - Eichorm. 1875. Einige Beitrage zu den Absorptionserscheinungen - in den Ackererden. Landw Jahrb 4, 1-31.

56 - Konig A. 1882. Uber das Absorptionsvermogën humoser Medien, Landw - Jahrb 11, 1-56.

57 - Witz, G. 1882. Bul. Rouen. 11, 169-232.

58 - Mc George, W.T. 1931. Organic compounds associated with base-exchange reactions in soils, Ariz. Agri. Exp. Sta. Tech. Bul, 31.

59 - Mitchell, J. 1932. Origin, nature, and importance of soil organic constituents having base-exchange properties, Jour. Amer. Soc. - Agron. 24, 256-274.

60 - Muller, J.F. 1933. Some observations on bas exchange in organic - materials Soil. Sci. 35, 229-237.

61 - Gilla . W.S. 1940. Study on the chemical nature of humic - soil Sci. 49, 433-453.

62- Broadbent, F.E. et Bradford, G.R. 1952. Cation-exchange grouping - in the soil organic fractions, Soil Sci. 74, 447-457.

63 - Mc Lean, E.O. 1952. The effect of humus on cationic interactions - in a beidellite clay. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 16, 134- 137.

64 - Abruna Rodriguez, F et Vicento Chandler, J. 1955. organic matter a ctivity of some typical soils of Puerto Rico. J. Agric. Univ. - Puerto 39, 65-76.

65 - Williams, C.H. et Donald, C.M. 1957. Changes in organic matter an pH in a podzlic soil as influenced by subterranean clover and superphosphate. Aust. G. Agric. Res. 8, 179-189.

66 - Frercks, W. et Priffe, D. 1958. Additional investigation on the analysis of chemical compounds groups in moor soils and sa nchy moor soils received differential liming. Z. PflErnähr. Düng. 83, - 42-54.

67 - Mohamed, M.K. et Gohar, A.A.I. 1960. Contribution of clay, silt and organic matter to potentiel fertility of Egyptian soils as measured by their cationic exchange capacities. Unit. Arab. - Republ. Min. Agric. Publ. pp 42.

68 - Heinonen, R. 1960. The exchange capacity of soil and of its various - components in Fin Land Z. PflErnähr. Düng 88, 49-59.

69 - Way, J.T. 1850. J. Rey. agric. Soc. 11, 313.

70 - Bauer, F.C. 1921. Relation of organic matter and feeding power of - plants to utilisation of vock phosphate, Soil. Sci. 12, 21-41.

71 - Copeland, O.L. et Merkle, F.G. 1942. Influence of certain soil treatments upon the fixation and availability of applied phosphates. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 1941. 6, 321-327.

72 - Gerretsen, F.C. 1948. Influence of microorganisms on the phosphate - intake by the plant, Plant and Soil. 1, 51-81.

73 - Jensen, C.A. 1917. Effect of decomposing organic matter on the solubility of certain inorganic constituents of the soil, Jorn. - Agr. Res. 9, 253-268.

74 - Milgley, A.R. et Dunkles; D.E. 1945. Availability to plants of - phosphates applied with cattle manure, N. Agr. Exp. Sta. Bnl. 525.

75 - Dhar, N.R. Bose S.M. et Gaur, A.C. 1955. Influence of calcium phosphate in composing of organic matter, Proc. Nat. Acad. Sci. India. 24, 473-488.

76 - Bradley, D.B. 1951. Precipitation of phosphorus by iron and aluminium as influenced by pH and pure organic substances. (Master's thesis University of Massachuscts).

77 - Struthers, P.H. et Sieling, O.H. 1950. Effect of organic anions on phosphate precipitation by iron and aluminium as influenced by pH, Soil. Sci. 69, 205-213.

78 - Swenson, R.M. Cole, C.V. et Sieling, D.H. 1949. Fixation of phosphate by iron and aluminium and replacement of organic and inorganic ions Soil. Sci. 67, 3-22.

79 - Dalton, J.D. Russel; C.C. et Sieling, D.H. 1952. Effect of organic matter on phosphate availability, Soil. Sci. 73, 173-181.

80 - Spinks, D.C. et Pritchett, N.L. 1956. The Downward movement of phosphatus in potting soils as measured by $P^{32}$, Florida state Horticultural Society, 69, 385-388.

81 - Chaminade, R. 1946. Nouvelles recherches sur les composés phospho-humiques Ann. Agron. 16, 191.

82 - Mattson, S. 1931. The laws of soil colloidal behaviow. IV. Isoelectric precipitates. Soil Sciences. 31, 57.

83 - Chaminade, R. 1944. Les formes du phosphore dans le sol - Nature et rôle des complexes phospho-humiques. Thèse Doct. Univ. Paris. Dunod, éd.

84 - Bottini, E. 1925. Humophosphates, Ann. Chim. Appl. 15, 358-362.

85 - Niklewski, B. 1958. The influence of humic compounds on plant developement studies in plant physiology, Prague.

86 - Russell, E.J. et Prescott, J.A. 1916. The reactions between dilute acids and the phosphorus compounds of the soil. J. Agric. Sci. 8, 65.

87 - Hibbard, P.L. 1935. Factors influenoing Phosphate fixation in soils. Soil. Sci. 39, 337-358.

88 - Davis, L.E. 1935. Sorption of phosphates by non-calcareous Hawaiian soils Soil. Sci. 40, 129-158

89 - Kurtz, T. De Turk, E.F. et Bray, R.H. 1946. Phosphate adsorption by Illinois Soils. Soil Sci. 61, 111.

90 - Fisher, E.A. 1922. Trans. Faraday Soc. 17, 305.

91 - Chaminade, R. 1934. Etudes des équilibres entre le complexe absorbant et les solutions des sols, 4, 626, 781.

92 - Volk, N.J. 1934. The fixation of potash in difficulty available forms in soils. Soil Sci. 37, 267-287.

93 - Kellner, O. 1887. Landw Versste. 33, 359.

94 - Dyer, B. 1894. J. Chem. Soc. 65, 115.

95 - Jeffe, G.S. et Kolodny, L. 1937. The distribution and fixation of potassium in the profile of brown podalic soils and sandy podsols, Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 2, 239-241.

96 - Truog, E. et Jones, R.J. 1938. The fate of soluble potash applied to soils. Ind. and Eng. Chem. 30, 882-885.

97 - Gourley, J.H. et Wanter, I.W. 1939. Lateral distribution of potassium in an orchard Soil. Jour. Amer. Soc. Agron. 41, 590-597.

98 - Sturgis, M.B. et Moore, J.R. 1939. Potassium fixation in Louisiana Soils Assoc. Sonthern. Agr. Workers. Proc. 40, 56-57.

99 - Walker, R.K. et Sturgis, M.B. 1940. Effects of wetting and drying and treatments on the availability of potassium in soils. Assoc. Southern. Agr. Workers Proc. 41, 79.

100- Barbier, G. 1935. Influence des colloides humiques sur certaines propriétés physiques et chimiques des terres argileuses. Ann. Agron. 5, 765-785.

101- Deuel, H. 1954. Potassium - Sympossium. p. 356.

102- Jones, H.S. 1948. Availability of humate potassium, Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 12, 373.

103- Wiklander, L. 1954. Formes of Potassium in the soil, Potassium Symposium p. 109-121.

104- Chaminade, R. 1955. Le Potassium et la matière organique, Potassium Symposium p. 203-214.

105- Thaer, A.D. 1808. Grundriss der Chemie für Landwart Berlin.

106- Mulder, G.J. 1840. Untersuchungen über die Humussubstanzen. J. prakt. Chemie 21, 203-321.

107- Bottomley, W. 1914. Some accessory factors in plant growth and nutrition Proc. Roy. Soc. 88, 237.

108- Clark, N.A. et Roller, E.M. 1924. The soil organic matter and growth promoting accessory substances. J. Ind. Engin. Chem. 16, 249-250.

109- Wolf, H.S. 192 . The auximone question, Bot. Gaz. 81, 228-234.

110- Ashby, E. 1929. The intreaction of factors on the growth of Lemmna, Ann. Bot. 62, 771-778.

111- Mockeridge, F. 1924. The occurence and nature of plant-growth promoting substances in various organic manurial composts. Biochem. J. 14, 432, 18, 550.

112- Hillitzer, A. 1932. Uber Ein fluss der Humusstoffe auf das. Wurzelwachstum. Beih. Bot. Ztrbl. 49, 467.

113- Chaminade, R. 1940. Recherches sur la présence de substances rhizogène dans certains milieux naturels. C.E. Acad. Agric. de France. 26, 66.

114- Lieske, R. 1932. Untersuchungen über die verwendbarkeit von kohlen als Dünge mittel. Brennstoffchemie 45, 121.

115- Lieske, R. et Winzer, K. 1935. Untersuchungen über die ursache der wachstums fördering durch Braunkohle. Ibid. 16, 24.

116-Siddappa, G.S. et Subranarayan, V. 1935. Investigations on the role of organic matter in plant nutrient V. Influence of minute quantities of certain forms of organic matter on the growth of barley. Proc. Ind. Acad. Sci. 1, (B) 229-248.

117- Virtanem, A.I. et Hansen, S.W. 1934. Effect of Yeast extract on the growth of plants. Nature. 155, 383-384.

118- Iyengar, B.A.S. et Subrahmanyan, S. 1935. Influence of fermentable organic matter on the transformation of iron on swampy soils. Proc. Ind. Acad. Sci. 1, 868-872.

119- Prat, 3. 1955. The influence of humic matter on algae. Folia Biol (Ceskosl) N° 1.

120- Prat, S. 1959. Humic acid with $C^{14}$ Biol. Plantarum-Praha. 1, 71.

121- Chaminade, R. 1952. H umus et de sol. IV congr. du sol, comm IV, p 4333. Paris et 1958 ann. Agron, N° 2.

122- Chaminade, R. 1960. Action stimulante de substances organiques sur la croissance de l'aspergillus Niger Ann. Agron. 11, 365-396

123- Flaig, W. 1958. Die chemie organischer Stoffe in Boden und deren physiologische wirkung Verhanoll. II IV komm. der Intern. Bodenk. Gesellschaft N° 2.

124- Niklewski, B. 1958. The influence of humic on plant development ; studies in plant physiology, Prague.

125- Niklewski, B. et Wojciechowski, J. 1937. Uber den Einfluss der wasserlöslichen Humusstoffe auf die Entwreklung einiger Nulturpflanzen, Bodenkunde und Pflanzern. N° 4 (49), 294.

126- Guminski, S. 1957. Mechanism and conditions of the physiological effect of humic matter on the plant organism. Pochovedenie, 12,

127- Khristewa, L.A. et al. 1957. Humus fertilizers, the theory and pratice of their use. 12 d. Khar'kov. gos. un-tq.

128- Chaminade, R. 1959. Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote. Zert. Für Pflanz.Düngung. Bodenkunde, 84, 22-25.

129- Chaminade, R. 1952. Recherche sur le rôle de la matière organique dans la fertilité des sols, Ann. Agron. 1, 95-104.

130- Saalbach, E. 1956. Eingluss von humusstoffer auf den stoffwechsel der Pflanzen. VI congr. Int. Sci. du sol, Paris D 107-111.

131- Saalbach, E. et Judel, G.K. 1961. On the causes of the influence of stable manure on the magnesium nutrition of maiz. Z. Pflanzenermähr, Düng, Bodenkunde 95, 23-29.

D E U X I E M E  T H E S E

PROPOSITIONS DONNEES PAR LA FACULTE

"Cultures des Algues"

Vu et approuvé

PARIS le 23 JUIN 1962

Le Doyen de la Faculté des Sciences
Marc ZAMANSKY

Vu
et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie
de Paris
Jean ROCHE